

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

10-115777

(43)Date of publication of application : 06.05.1998

(51)Int.Cl.

G02B 13/04

G02B 13/18

(21)Application number : 08-269615

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

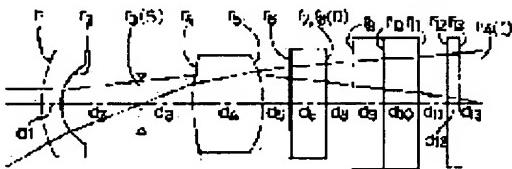
(22)Date of filing : 11.10.1996

(72)Inventor : NAGATA TETSUO

## (54) PHOTOGRAPHIC LENS

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain an inexpensive photographing lens formed so that primary axial chromatic aberration and primary magnification chromatic aberration are corrected and the high-order chromatic aberration of a wide-angle lens is also eliminated by using a diffraction optical element and constituted of the small number of lenses.



**SOLUTION:** This lens is constituted of a negative-power front group, an aperture diaphragm S and a positive-power rear group. The lens of the front group on the most object side is constituted of the lens whose convex surface is faced to the object side. The rear group is provided with at least one positive lens and the diffraction optical element having a positive-power diffraction surface. Besides, it is constituted so as to satisfy a condition for excellently correcting the chromatic aberration generated by a refraction system by using the diffraction optical element and a condition for excellently correcting the axial chromatic aberration and the magnification chromatic aberration to be well-balanced.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

26.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of  
rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-115777

(43)公開日 平成10年(1998)5月6日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 13/04  
13/18

識別記号

F I

G 0 2 B 13/04  
13/18

D

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全29頁)

(21)出願番号 特願平8-269615

(22)出願日 平成8年(1996)10月11日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 永田哲生

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン  
パス光学工業株式会社内

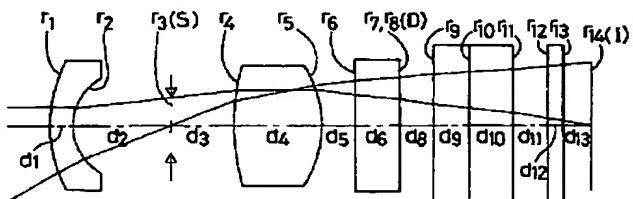
(74)代理人 弁理士 垣澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】撮影レンズ

(57)【要約】

【課題】回折光学素子を用いて一次の軸上色収差、倍率色収差を補正し、広角レンズの高次の倍率色収差も除去した、構成枚数の少ない安価な撮影レンズ。

【解決手段】負のパワーの前群と、開口絞りと、正のパワーの後群とで構成され、前群の最も物体側のレンズが物体側に凸面を向けたレンズからなり、後群は、少なくとも1つの正レンズと正のパワーの回折面Dを有する回折光学素子とを有し、屈折系で発生した色収差を回折光学素子により良好に補正するための条件と、軸上色収差及び倍率色収差をバランス良く良好に補正するための条件とを満足する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物体側から順に、負のパワーの前群と、開口絞りと、正のパワーの後群とで構成され、前記前群の最も物体側のレンズが物体側に凸面を向けたレンズか\*

$$0.02 < \phi_{DOE} / \phi < 0.20$$

$$0.2 < D_{DOE} / f < 3.0$$

ただし、 $\phi$ 、 $f$ はそれぞれ全系のパワーと焦点距離、 $\phi_{DOE}$ は前記回折面のパワーであり、基板のパワーは含まず、また、 $D_{DOE}$ は前記開口絞りの位置から前記回折面までの距離である。

【請求項 2】 請求項 1において、前記開口絞りから前※

$$0 \leq \phi_{REF} / \phi < 0.9$$

$$-0.2 < f / EXP_{DOE} < 0.42$$

ただし、 $\phi_{REF}$ は前記屈折光学素子のパワーであり、前記回折光学素子のパワーは含まず、また、 $EXP_{DOE}$ は前記射出瞳位置から前記回折面までの距離である。★

$$-0.8 < f_r / f_f < -0.2$$

$$0.5 < D_{fs} / f < 2.2$$

ただし、 $f_r$ は前記前群の焦点距離、 $D_{fs}$ は前記前群の物体側の面頂から前記開口絞りまでの距離である。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、撮影レンズに関し、特に、CCD撮像素子を用いた電子カメラ、ビデオカメラ、監視カメラ、車載用カメラ等に用いられる撮影レンズに関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来のCCD等の撮影素子を用いた撮影レンズは、固体撮像素子の前面にある色フィルター等による色シェーディングの防止、マイクロレンズによる光束の漏れ防止のために、像側にテレセントリック性が良いことが要求されている。また、光学系の最終面と撮像素子の間にローパスフィルター、色フィルター等の光学素子を配置させるため、長いバックフォーカスを必要とし、負のパワーの前群と正のパワーの後群の2群構成のレトロフォーカス型のものが多い。このレトロフォーカス型はバックフォーカスの確保に有利であるが、前群で発散させた光束を後群で収束させるように開口絞りに対して非対称なレンズ構成をとっているため、コマ収差、非点収差、歪曲収差等の軸外収差の発生量が大きい。さらに、通常、画角の広い撮影レンズ系には、色収差を良好に補正するために開口絞りより像側に低分散の凸レンズと高分散の凹レンズとの接合レンズを配置することが多く、そのため、後群全体で同じパワーを保つためには正レンズのパワーを強めなければならない。したがって、軸外収差を良好に補正しさらに色収差も十分に補正するためには、レンズ枚数を多くする必要があるが、これはレンズ系をコスト高にしてしまい、好ましくない。また、各光学素子のパワーを弱める方法があるが、これは全長が長くなってしまう欠点があった。最近のレンズ

\* らなり、前記後群は、少なくとも1つの正レンズと正のパワーの回折面を有する回折光学素子とを有し、以下の条件を満足することを特徴とする撮影レンズ。

... (1)

... (2)

※記回折面までの間に、以下の条件式(3)の範囲内の屈折作用を持つ屈折光学素子を有し、さらに、前記回折面よりも物体側にある光学系の射出瞳位置が以下の条件式(4)の範囲内にあることを特徴とする撮影レンズ。

... (3)

... (4)

★【請求項 3】 請求項 1 又は 2 において、以下の条件を満足することを特徴とする撮影レンズ。

... (5)

... (6)

枚数の少ない広角レンズと言えば、特開平 6-1485

20 18号、特開平 7-333499号、特開平 8-5908号等のものがある。これらはレンズ系の構成枚数が3枚から4枚程度と少なく、何れも色収差を補正するために後群に低分散の正レンズと高分散の負レンズとの接合レンズを配置する構成になっている。また、軸外収差及び色収差を良好に補正した広角レンズと言えば、特開平 6-107070号の実施例のように、レンズ構成枚数として5枚程度の広角レンズが開示されている。

【0003】また、レンズの表面をフレネルレンズ形状にした負レンズと正レンズの2枚構成の広角レンズが特開平 6-230275号、特開平 4-43607号等に開示されている。フレネルレンズは光の屈折作用を利用するものであり、非球面効果を有するため、軸外収差等は良好に補正されるが、色収差補正に関してはほとんど作用がなく、軸上色収差又は倍率色収差が補正し切れていない。

【0004】最近では、回折現象を利用した回折光学素子(Defractive Optical Elements (DOE))が注目されている。DOEの光学的特性としては、従来からある屈折レンズとは異なり、アッベ数は $v = -3.453$ と言う逆分散性及び異常分散性と言う特徴を持っている。このことは、例えば Thomas Stone と Nicholas George の論文("Hybrid diffractive-refractive lenses and achromats" Applied Optics, 27, 14, 2960-2971 (1988.7.15) )に提案されていて、この性質を利用して、正のパワーの屈折レンズと弱い正のパワーの回折光学素子の接合レンズで色収差補正が可能となることは既に周知のことである。これは、従来の接合レンズと比較しても、正のパワー同士であるため個々のレンズのパワーを弱めることができ、軸外収差の発生が小さく抑えられ、

収差補正上十分有効である。

【0005】さらに、最近では、DOEを用いた光学系が多く提案されている。例えば、U.S.P. 5, 148, 314の実施例は、接眼レンズ、ペツツバールタイプのレンズ、大口径レンズ、望遠レンズ等が記載されており、光学系の構成の中にDOEを使用すれば、色収差及び他の軸外収差が補正できることが開示されている。また、本出願人が提案した特開平6-324262号、特開平6-331898号、特開平6-331941号、特開平6-347700号には、望遠レンズ、対物レンズ、投影レンズ等の応用が開示されている。また、広角レンズにDOEを応用した例は、本出願人が提案した特開平6-194571号の内視鏡対物レンズがある。しかし、この実施例においては、広画角であるが非常にディストーションが大きく発生する内視鏡対物レンズ特有の光学系であり、本発明の属する技術分野に使用するには、あまり好ましくない。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来の構成枚数の少ない広角レンズには、特開平6-148518号、特開平7-333499号、特開平8-5908号等のものが\*

$$0.02 < \phi_{DOE} / \phi < 0.20$$

$$0.2 < D_{DOE} / f < 3.0$$

ただし、 $\phi$ 、 $f$ はそれぞれ全系のパワーと焦点距離、 $\phi_{DOE}$ は前記回折面のパワーであり、基板のパワーは含まず、また、 $D_{DOE}$ は前記開口絞りの位置から前記回折面までの距離である。

#### 【0009】この場合、開口絞りから回折面までの間

$$0 \leq \phi_{REF} / \phi < 0.9$$

$$-0.2 < f / EXP_{DOE} < 0.42$$

ただし、 $\phi_{REF}$ はその屈折光学素子のパワーであり、回折光学素子のパワーは含まず、また、 $EXP_{DOE}$ はその射出瞳位置から回折面までの距離である。★

$$-0.8 < f / f_F < -0.2$$

$$0.5 < D_{fs} / f < 2.2$$

ただし、 $f_F$ は前群の焦点距離、 $D_{fs}$ は前群の物体側の面頂から開口絞りまでの距離である。

【0011】以下、本発明において上記の構成をとる理由とその作用について説明する。

【0012】レトロフォーカスタイルの撮影レンズの場合、近軸的に、軸上色収差に関しては、開口絞りより物体側にある前群で正の色収差を、開口絞りより像側にある後群で負の色収差を発生させる。また、倍率色収差に関しては、前群で負の色収差を、後群においても負の色収差を発生させる。そのため、軸上色収差は前群と後群でキャンセルできるが、倍率色収差はキャンセルできない。そこで、従来のレトロフォーカスレンズは、それぞれの群を正負複数枚のレンズで構成し、各群での軸上色収差及び倍率色収差の発生量を小さく保つことにより、目標性能を達成しようとしていた。しかし、この手法で

\*あり、軸上色収差は良好に補正されているが、倍率色収差及び軸外収差が補正し切れていない。軸上色収差及び倍率色収差を十分補正し、さらに軸外収差も良好に補正された広角レンズは、例えば特開平6-107070号のもののように、接合レンズを含めレンズ枚数を増加しなければならなかった。

【0007】本発明は従来技術のこれらの点を鑑みてなされたものであり、その目的は、回折光学素子を用いることで、画角周辺部まで高い結像性能を維持したまま、10 一次の軸上色収差及び倍率色収差を良好に補正し、さらには広角レンズにおける高次の倍率色収差も除去した、構成枚数の少ない安価な撮影レンズを提供することである。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の撮影レンズは、物体側から順に、負のパワーの前群と、開口絞りと、正のパワーの後群とで構成され、前記前群の最も物体側のレンズが物体側に凸面を向けたレンズからなり、前記後群は、少なくとも1つの正レンズと正のパワーの回折面を有する回折光学素子とを有し、以下の条件を満足することを特徴とするものである。

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

※に、以下の条件式(3)の範囲内の屈折作用を持つ屈折光学素子を有し、さらに、回折面よりも物体側にある光学系の射出瞳位置が以下の条件式(4)の範囲内にあることが望ましい。

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

★【0010】また、以下の条件を満足することが望ましい。

$$\dots (5)$$

$$\dots (6)$$

は必然的に前後群共に複数枚のレンズを必要とし、レンズ枚数の増大を招いてしまう。

【0013】一方、前後群の何れかの群の構成を工夫し、一方の群で正の倍率色収差を発生させ前後群で倍率色収差をキャンセルさせる構成にした場合、例えば前群に色収差補正素子を配置して前群で発生する倍率色収差を正にすると、その色収差補正素子で負の軸上色収差が発生し、撮影レンズ全体で軸上色収差の補正が困難となる。したがって、前群で正の倍率色収差を発生させて補正することは好ましくない。また、後群で発生する倍率色収差を正にするために、例えば後群に負のパワーのレンズを配置すると、後群のパワーを一定に保つためには正レンズ成分のパワーを強くしなければならなくなり、通常の屈折レンズの組み合わせでは、正レンズ成分で発生する負の軸上色収差を補正することが非常に困難とな

る。

【0014】そこで、後群に配置する色収差補正素子としてDOEを用いると、DOEは通常の屈折レンズとは逆の分散特性を有するため、正のパワーで正の倍率色収差が発生し、後群の正レンズのパワーを増大せずに、かつ、後群で正の倍率色収差を発生させることができるとなる。すなわち、以上をまとめると、少ないレンズ枚数で、前後群の一方の群で正の倍率色収差を発生させ前後群で倍率色収差をキャンセルさせるためには、後群に、逆分散性を有し、正のパワーで正の倍率色収差を発生するDOEを配置することが最も好ましい。また、DOEはアッペ数-3.45であり、高分散性も有しているため、DOEのパワーが非常に弱くても補正が可能となる。そのため、構成枚数の多い撮影レンズに対しても、近軸量を略変化させずにDOEを配置することで、さらに色収差を良好に補正することが可能となる。さらに、前記した特許公報に記載されている実施例等に色収差補正のための接合レンズを使用しているが、後群にDOEを用いることで、負のパワーのレンズを使うことなく軸上色収差及び倍率収差を良好に補正できるため、後群の正レンズのパワーを強くする必要がなく、軸外収差の発生を極めて小さくすることが可能となる。

【0015】また、DOEは輪帶間隔を変えることにより非球面効果を持たせることができるため、撮影レンズの屈折系の光学素子で発生した軸外収差、特に、コマ収差と非点収差を良好に補正することができる、このような非球面効果を持つDOEの製作は、通常の球面効果のDOEの製作と製法は同じで製作性の難易度に差が\*

$$0.043 < \phi_{\text{DOE}} / \phi < 0.175$$

また、前記条件式(2)は、軸上色収差及び倍率色収差をバランス良く良好に補正するための条件式であり、撮影レンズにおけるDOEの適切な配置場所を規定したものである。

【0019】上記条件式(2)の下限値の0.2を越えると、DOEの配置位置が開口絞りに近づきすぎ、軸上光束の光線高が高く軸外光束の光線が低いために、軸上色収差が補正過剰になり、また倍率色収差が補正不足となってしまうため、好ましくない。さらに、DOEに対して軸外光束の入射角が軸上光束と比較して大きくなり、回折効率が低下してしまう。図27は光束がDOE 10に対して垂直入射したときの様子を示す図で、図28は光束が斜入射のときの様子を示す図である。垂直入射の場合、理論的に特定の波長に対して100%の回折効率を得られ、図27のように全ての光が回折角 $\theta_1$ で※

$$\eta_1 \approx (\Delta T / T)^2 \eta_0$$

この詳細は、例えばGary J. Swansonの論文("Binary Optics Technology: Theoretical Limits on the Diffraction Efficiency of Diffractive Optical Elements" Lincoln Laboratory MIT Tech Report TR-914)に記載されている。そのため、DOEを用いたレン

\* ない。

【0016】また、最も物体側の面を物体側に凸面にすることによって軸外主光線の最も物体側の凸面に対する入射角を小さくでき、そのため、軸外収差、特に、レトロフォーカスタイプは前群と後群で大きな負のディストーションが発生するが、前群で負の値のディストーションの発生を極めて小さく抑えることができ、画角周辺部まで良好な結像性能が得られる。

【0017】さらに、前記条件式(1)は、屈折系のレンズで発生した色収差を上記DOEにより良好に補正するための条件式であり、撮影レンズ系全体におけるDOEのパワー配分を規定したものである。条件式(1)の下限値の0.02を越えると、DOEのパワーが非常に弱くなり、上記屈折系で発生した軸上色収差及び倍率色収差をDOEで補正しきれず、好ましくない。また、DOEの輪帶間隔が非常に大きくなり、光束径に含まれる輪帶の数も少くなり回折効率が低下し、さらに、屈折作用の影響が大きくなり、DOEの逆分散性及び異常分散性の効果が低下し、フレネルレンズのように色収差が補正できず、好ましくない。また、上記条件式(1)の上限値の0.20を越えると、DOEが異常分散性のため、特に長波長側のスペクトルが補正過剰となり、好ましくない。さらに、DOEのパワーが強くなると、輪帶間隔が非常に微細構造となり、製作上困難になってしまう。

【0018】さらに、条件式(1)は以下の範囲内であることがより望ましい。

... (11)

※回折するが、図28のように光束が斜入射の状態になると、回折格子のブレーズ面の範囲 $\Delta T$ の間に入射した光束は理想の回折角をもって光線1の方向に回折されるが、ブレーズ面間の位相が急激に変化する部分に入射した光束は光線2のように他の方向に回折又は反射してしまい、結果的に回折効率の低下の原因となる。このことは、特に輪帶間隔Tが狭くなる軸外光束や軸上マージナル光線に関して、つまり、DOEの構造深さに対してTの値が小さい部分に入射する光束に影響が大きく、回折効率の低下が起る。この $\Delta T / T$ の値をデューティー比とし、垂直入射のときの回折効率 $\eta_1$ とすると、斜入射のときの回折効率 $\eta_2$ は近似的に次の(12)式で与えられる。

【0020】

... (12)

ズ系の場合にこの回折効率の低下が一番重要な問題点となり、ゴースト、フレアの原因となってしまうため、好ましくない。また、上記条件式(2)の上限値3.0を越えると、倍率色収差が良好に補正されるものの、全長が長くなってしまい、さらにはバックフォーカスも長く

とらなければならないため、前群の負のパワーを強くする必要があり、そのため、軸外収差の補正が困難となり、好ましくない。

\*

$$0.4 < D_{DOE} / f < 2.2$$

また、本発明の撮影レンズは、さらに、開口絞りから回折面までの間に、以下の条件式(3)の範囲内の屈折作用を持つ屈折光学素子を有し、さらに、回折面よりも物※

$$0 \leq \phi_{REF} / \phi < 0.9$$

$$-0.2 < f / EXP_{DOE} < 0.42$$

ただし、 $\phi_{REF}$  はその屈折光学素子のパワーであり、回折光学素子のパワーは含まず、また、 $EXP_{DOE}$  はその射出瞳位置から回折面までの距離である。

【0022】条件式(3)は、全長を短くし、さらに軸外光束のDOEに対する入射角度を垂直あるいはそれに近い角度にするための条件式であり、開口絞りから回折面までの屈折作用を持つ光学素子のパワー配分を規定したものである。また、条件式(4)についても、軸外光束がDOEに対して垂直に近い入射角を保つための条件式であり、回折面よりも物体側にある光学系の射出瞳から回折面までの距離を規定したものである。

【0023】上記条件式(3)の下限値の0もしくは上記条件式(4)の上限値0.42を越えると、DOEに入射する軸外光線の角度が軸上光束と比較して大きくなり、そのため光束が軸外になるにつれて回折効率の低下も増大する。そのために画角周辺部になるにつれて画質★

$$0.3 < \phi_{REF} / \phi < 0.85$$

さらに、条件式(3)は以下の条件式(15)の範囲内であることがより望ましい。

☆

$$0.5 < \phi_{REF} / \phi < 0.85$$

また、条件式(4)は以下の条件式(16)の範囲内であることで、軸外光束でDOEに対して垂直に近い入射◆

$$0 < f / EXP_{DOE} < 0.42$$

さらに、条件式(4)は以下の条件式(17)の範囲内であることで、後群の光学素子をより小型化でき望まし

$$0.03 < f / EXP_{DOE} < 0.40$$

また、本発明のレトロフォーカスレンズは、撮影レンズの最終面と撮像素子の間にローパスフィルターや色フィルター等の光学素子を配置するため、長いバックフォーカスを必要とする。そのため、前群のパワーを適切に配する必要があり、以下の条件式(5)のような範囲内に前群のパワーを規定することで、十分なバックフォーカスを確保することができる。また、近年、あらゆるもの的小型化、低コスト化が非常に望まれており、撮影レン

$$-0.8 < f_f / f_r < -0.2$$

$$0.5 < D_{rs} / f < 2.2$$

ただし、 $f_f$  は前群の焦点距離、 $D_{rs}$  は前群の物体側の面頂から開口絞りまでの距離である。

【0028】上記条件式(5)の上限値-0.2を越えると、全系の焦点距離に対して前群の焦点距離が長くなり、バックフォーカスの確保が困難になり好ましくな

\* 【0021】さらに、条件式(2)は以下の範囲内であることがより望ましい。

... (13)

※ 体側にある光学系の射出瞳位置が以下の条件式(4)の範囲内にあることが望ましい。

... (3)

42

... (4)

★の劣化が増大し、フレアーガが発生しやすくなり、好ましくない。また、上記条件式(3)の上限値の0.9を越えると、バックフォーカスを確保するために前群のパワーも大きくしなければならなくなり、光学素子の個々のパワーが強くなってしまい、コマ収差及び非点収差が悪化して好ましくない。また、条件式(4)の下限値の-0.2を越えると、後群に配置される正レンズのパワーが強くなり、球面収差が大きく補正不足となる。さらに、撮像素子よりもその正レンズが大きくなってしまい、装置の巨大化、コスト高を招いてしまう。また、バックフォーカスを十分に確保することができなくなってしまい、そのため前群の負のパワーを強くすると軸外収差の補正が困難となり好ましくない。

【0024】さらに、条件式(3)は以下の条件式(14)の範囲内であることがより望ましい。

... (14)

## ★【0025】

... (15)

◆ 角を保つことができると同時に、後群の光学素子をより小型化でき望ましい。

... (16)

い。

## 【0026】

... (17)

ズにおいても例外ではなく、そのため、以下の条件式(6)のような範囲内に前群の最も物体側の面頂から開口絞りまでの距離を規定することで、結像性能を保つつ撮影レンズの小型化、特に前群に配されるレンズ玉の40 小型化、それに伴う低コスト化を実現することができる。

## 【0027】

... (5)

... (6)

い。さらにまた、上記条件式(5)の下限値-0.8を越えると、バックフォーカスの確保には有利であるが、レンズ個々のパワーが強くなり、特にディストーション、コマ収差、非点収差が悪化し、画角周辺部まで結像性能を良好にすることが困難になり好ましくない。

【0029】上記条件式(6)の下限値0.5を越えると、レンズ全長は短くなり、前玉径も小型化になるが、レンズ系を広画角にするためには最も物体側の面の曲率が小さくなりすぎ、ディストーションの補正が困難となる。また、高次の倍率色収差が悪化し、画角周辺部の結像性能が非常に悪くなり好ましくない。また、上記条件式(6)の上限値2.2を越えると、収差は良好に補正\*

$$\begin{aligned} -0.7 < f / f_r < -0.3 \\ 0.8 < D_{rs} / f < 1.9 \end{aligned}$$

また、本発明の撮影レンズは、軸上色収差及び倍率色収差を良好に補正し、さらに球面収差、軸外収差も良好に補正された撮影レンズであることが望ましい。そのた

$$\begin{aligned} 0.2 < R_{11} / D_{rs} < 1.2 \\ -1.0 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 5.0 \end{aligned}$$

ただし、 $R_{11}$ は前群の最も像側の面の曲率半径、 $D_{rs}$ は前群の最も像側の面から開口絞りまでの距離、 $R_1, R_2$ はそれぞれ後群の屈折レンズ成分の物体側、像側の近軸曲率半径である。

【0033】上記条件式(7)は、球面収差及びコマ収差を良好に補正するための条件式であり、前群の最も像側の曲率半径を規定したものである。上記条件式(7)の下限値0.2を越えると、撮影レンズの軸外光線は屈折角が非常に大きくなり、コマ収差が大きく発生してしまい好ましくない。また、球面収差がレンズ系の個々の面でアンダーに発生しているのを前群の最も像側の面によって大きくオーバーに発生させているため、上記条件式(7)の上限1.2を越えると、球面収差が補正不足となり好ましくない。

【0034】上記条件式(8)は、撮影レンズの結像性能を良好に保つための条件式であり、後群の中に配置される屈折レンズの形状を規定したものである。本発明の★

$$\begin{aligned} 0.37 < R_{11} / D_{rs} < 0.9 \\ -0.3 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 3.0 \end{aligned}$$

またさらに、撮影レンズの構成枚数を極めて少なくするために、本発明の撮影レンズの構成を、前群は物体側に凸面を向けた負のパワーのメニスカスレンズのみで構成し、後群の少なくとも1つの正レンズが両凸レンズであることが望ましい。★

$$0 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 1.0$$

上記条件式(21)は、後群の少なくとも1つの正レンズの両凸レンズの形状を規定していて、軸外収差を良好に保つための条件式である。その両凸レンズの像側の面に強い曲率を持たせることにより、物体側の面と像側の面に対する光束の入射角が均等になり、軸外収差の発生を極めて小さく抑えることができ、画角周辺部まで良好な性能を保つことができ好ましい。

【0039】またさらに、撮影レンズの構成枚数が極めて少なくかつディストーション及び倍率色収差を良好に補正するための本発明の撮影レンズの構成は、前群は、物体側に凸面を向けた正レンズと負のパワーのレンズと

\* しやすくなるが、前群のレンズ径が大きくなりコスト高になり、さらに全長も長くなってしまい、好ましくない。

【0030】さらに、条件式(5)、(6)は以下の範囲内であることがより望ましい。

### 【0031】

$$\dots (18)$$

$$\dots (19)$$

※め、以下の条件式を満足することで、球面収差及び軸外収差を良好に補正することが可能となる。

### 【0032】

$$\dots (7)$$

$$-R_{11} < 5.0 \dots (8)$$

★撮影レンズは、主に後群の正のパワーを持つ屈折レンズで軸外収差、特にコマ収差、非点収差、ディストーション及び像面湾曲が大きく発生しているため、結像性能の劣化を招いている。上記レンズの物体側の面と像側の面においてコマ収差、非点収差及びディストーションは正負逆に発生している場合が多く、レンズ単体においてなるべく軸外収差を打ち消すようにし、かつ前群で発生する球面収差、コマ収差も打ち消し、極力屈折レンズ系で諸収差を発生させないことが望ましい。したがって、その屈折レンズの物体側の面と像側の面の入射角に差が生じないようにレンズの形状を規定する必要がある。上記条件式(8)の下限値-1.0、上限値5.0を越えると、軸外収差が良好に補正できなくなり好ましくない。

【0035】さらに、条件式(7)、(8)は以下の範囲内であることがより望ましい。

### 【0036】

$$\dots (20)$$

$$-R_{11} < 3.0 \dots (21)$$

★【0037】前群を負のパワーのメニスカスレンズのみで構成することで、極めて少ないレンズ枚数で安価な撮影レンズを提供することができる。さらに、以下の条件式(22)を満足することがより望ましい。

### 【0038】

$$\dots (22)$$

で構成され、後群の少なくとも1つの正レンズが両凸レンズであることが望ましい。

【0040】前群を物体側に凸面を向けた正レンズと負のパワーのレンズとで構成することで、軸外収差を良好に補正でき、画角周辺部まで良好な結像性能が得ることが可能となる。特にレトロフォーカスタイルのレンズ系は、開口絞りに対して非対称であり、ディストーション及び倍率色収差が開口絞りを挟んで前群と後群で同一方向に発生してしまうため、収差補正が困難となる。そのため、前群にパワーの弱い正レンズを配置することで、逆の方向のディストーション及び倍率色収差を発生さ

せ、撮影レンズ全系で収差の発生を極力小さく抑えることが可能となり、好ましい。さらに、上記構成のレンズにおいても、条件式(22)を満足すことがより望ましい。

【0041】本発明の前記の目的を達成するための他の撮影レンズの構成は、物体側から順に、負のパワーの前\*

$$0.02 < \phi_{DOE} / \phi < 0.20 \\ 0.2 < D_{DOE} / f < 3.0$$

ただし、 $\phi$ 、 $f$ はそれぞれ全系のパワーと焦点距離、 $\phi_{DOE}$ は前記回折面のパワーであり、基板のパワーは含まず、また、 $D_{DOE}$ は前記開口絞りの位置から前記回折面までの距離である。

【0042】回折光学素子に曲率を持たせることによって、回折光学素子は回折作用と屈折作用の両方を併せ持つことになり、平行平板に輪帯を付けたDOEを含む撮影レンズと比較して、撮影レンズの屈折系のレンズ構成枚数をさらに少なくすることができる。また、DOEの基板に曲率を付けることにより後群の回折レンズ系のパワーを分割することで、個々の面のパワーを弱めることができ、特に軸外収差の発生を小さく抑えることが可能となる。また、前述したように、回折効率が低下する要因の1つにDOEに入射する光束が斜入射の場合があることがあげられ、極力垂直入射に近い入射角度であることが望まれる。この発明の分野における撮影レンズは、像側にテレセントリックな撮影レンズが望まれるため、※

$$-8.0 < C_{DOE} \cdot f < 1.0$$

ただし、 $C_{DOE}$ は回折光学素子の基板の回折面を設ける面の曲率である。

【0044】条件式(9)は、回折面を有する回折光学素子の基板の曲率を規定したものである。上記条件式(9)の下限値-8.0を越えると、DOEの基板の曲率が非常に強くなり基板上に輪帯の溝を作るのが非常に困難となり、製作上好ましくない。また、上記条件式★

$$-5.0 < C_{DOE} \cdot f < 0$$

さらに望ましくは、条件式(9)を以下の条件式(24)の範囲内にすることで、DOEの回折効率の低下を★

$$-3.0 < C_{DOE} \cdot f < 0$$

また、本発明の撮影レンズは、さらに前記の(3)もしくは(14)、(15)の条件式を満足することがより望ましい。

【0047】また、本発明のレトロフォーカスレンズは長いバックフォーカスを必要とするため、前群のパワーを適切に配する必要があり、前記条件式(5)のような範囲内に前群のパワーを規定することで、十分なバックフォーカスを確保することができる。また、小型化、低コスト化のため、前記条件式(6)のような範囲内に前群の最も物体側の面頂から開口絞りまでの距離を規定することで、結像性能を保ちつつ、上記撮影レンズの小型化、特に、前群に配されるレンズ玉の小型化、それに伴う低コスト化を実現することができる。

\*群と、開口絞りと、正のパワーの後群とで構成され、前記前群の最も物体側のレンズが物体側に凸面を向けたレンズからなり、前記後群は、少なくとも1つの曲率のある面が正のパワーの回折面を有する回折光学素子からなり、以下の条件を満足することを特徴とするものである。

... (1)

... (2)

※平面上にDOEを付けた場合、光束を垂直入射させるために、特に像面に近い位置にDOEを配置しなければならなかつた。しかし、開口絞りに対してコンセントリックな面に、又は、それに近い曲率を持った面にDOEを付けることで、開口絞りに近い位置にDOEを配置しても軸外主光線がより垂直入射に近い入射角度となり、回折効率の低下を防ぐことができる。

【0043】さらに、条件式(1)、(2)は前記の条件式(11)、(13)の範囲内であることがより望ましい。また、DOEを用いたレンズ系の場合、一番重要な問題点となるゴースト、フレアーの原因となってしまう回折効率の低下を極力避けるために、DOEに入射する光束、特に軸外光束の入射角度を垂直入射に近づける必要がある。そのため、本発明の撮影レンズは、回折面を有する回折光学素子の基板の曲率が以下の条件を満足することがより望ましい。

... (9)

★(9)の上限値1.0を越えると、開口絞りに対してコンセントリックな面でなくなるため、特に軸外光束がDOEに対して入射角が大きくないため、回折効率の低下を招き好ましくない。

【0045】さらに、条件式(9)は以下の条件式(23)の範囲内であることがより望ましい。

... (23)

☆より防ぐことが可能となる。

#### 【0046】

... (24)

【0048】さらに、条件式(5)、(6)は前記の条件式(18)、(19)の範囲内であることがより望ましい。また、本発明の撮影レンズは、軸上色収差及び倍率色収差を良好に補正し、さらに球面収差、軸外収差も良好に補正された撮影レンズであることが望ましく、前記の条件式(7)及び以下の条件式(10)を満足することがより望ましい。 $-1.1 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 5.0$  ... (10) ただし、 $R_1$ 、 $R_2$ はそれぞれ後群の回折面を有する回折光学素子の基板の物体側、像側の近軸曲率半径である。

【0049】条件式(10)は、回折光学素子の形状を規定したものある。上記条件式(10)の下限値-1.1及び上限値5.0を越えると、DOEの基板の屈折レ

ンズのパワーが弱くなり、全長が長くなってしまうか、もしくは、後群の中に他の屈折レンズがあった場合そのパワーを強くしなければならず、軸外収差が大きく発生してしまい好ましくない。さらに、上記条件式(10)の下限値-1.1を越えると、物体面側に凸面を向けたメニスカス形状となり、特に軸外光束の入射角がDOE\*

$$-1.0 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 3.0 \quad \dots \quad (25)$$

さらに、以上に説明した本発明の撮影レンズは、軸外収差を良好に補正し画角周辺部まで結像性能を良くするために、前群の負レンズの形状を規定することが望ましい。特にディストーションに対しては、10%程度の発生でも風景や人物を撮影した画像に違和感を感じことがある。レトロフォーカスタイルの撮影レンズは、前述したように、開口絞りに対して非対称であるため、大き※

$$1.2 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 4.0 \quad \dots \quad (26)$$

ただし、 $R_1$ 、 $R_2$ はそれぞれ前群の上記負レンズの物体側、像側の近軸曲率半径である。

【0051】条件式(26)は、上記負レンズにおける負のディストーションの発生量を小さくするための条件式であり、上記負レンズの形状を規定したものである。条件式(26)の下限値1.2を越えると、上記負レンズの物体側の面に入射する軸外主光線の角度が大きくなり負のディストーションが発生し、好ましくない。また、上記条件式(26)の上限値4.0を越えると、画★

$$1.4 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 3.2 \quad \dots \quad (27)$$

さらに、後群に含まれる屈折レンズが1枚のみの場合、前記条件式(21)又は条件式(22)もしくは以下の条件式(28)を満足することで、より色収差及び軸外収差が良好に補正され、像面に対してテレセントリック性を保つことができる。さらに、後群の正レンズの少なくとも1面に非球面を導入することができる。

$$0 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 0.7 \quad \dots \quad (28)$$

さらに、以上の本発明の撮影レンズは、開口絞りから撮影レンズの最終面までの距離を規定することが望ましい。すなわち、光学系の最終面と撮像素子の間にローパスフィルター等の光学素子を配置させるため、長いバシクフォーカスを必要とし、そのため、撮影レンズの後群◆

$$0.6 < D_{S1} / f < 3.0$$

ただし、 $D_{S1}$ は開口絞りから光学フィルターの除く撮影レンズの最終面までの距離である。上記条件式(29)の下限値の0.6を越えると、軸外収差及び倍率色収差が悪化し、補正が困難となり好ましくない。上記条件式(29)の上限値3.0を越えると、光学フィルター等

$$0.8 < D_{S1} / f < 2.5$$

さらに、後群に含まれる屈折レンズが複数枚で構成されている場合、以下の条件式(31)を満足することで、より色収差及び軸外収差が良好に補正され、像面に対し

$$-0.3 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 0.7 \quad \dots \quad (31)$$

さらに、後群の屈折レンズが複数枚で構成されている場合にも、後群の正レンズの少なくとも1面に非球面を導入すると良い。収斂面の場合は、光軸から離れるに従い曲率が強くなる非球面であるのが良い。

\*に対しきつくなり、回折効率の低下を招き好ましくない。

【0050】さらに、条件式(7)、(10)は、前記の条件式(20)及び以下の条件式(25)の範囲内であることがより望ましい。

$$-R_1 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 3.0 \quad \dots \quad (25)$$

※な負のディストーションが発生する。そのため、ディストーションを良好に補正するためには極力前後群での発生量を抑えることが望ましく、特に前群の負レンズで大きく発生する負のディストーションを極力抑えるために、前群に含まれる少なくとも1つの負レンズが以下の条件式(26)の範囲内であることが望ましい。

$$-R_1 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 4.0 \quad \dots \quad (26)$$

★角を大きくすることが困難になってしまふ。また、軸外収差が悪化し、特にペツツバール和が取れなくなり、画角周辺部まで結像性能を良好に保つことが困難となり、好ましくない。さらに、前群の上記負レンズ成分の物体側の面に光軸から離れるに従い曲率が強くなる非球面とすれば、なお一層良い。

【0052】さらに、条件式(26)は以下の条件式(27)の範囲内であることがより望ましい。

$$-R_1 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 3.2 \quad \dots \quad (27)$$

☆くとも1面に非球面を導入すると良い。収斂面の場合は、光軸から離れるに従い曲率が弱くなる非球面であり、一方、発散面の場合は、逆に曲率が強くなる非球面であるのが良い。

### 【0053】

◆をあまり長くすると、ローパスフィルター等が配置できなくなり好ましくない。したがって、以下の条件式(29)の範囲内であることが望ましい。

### 【0054】

$$\dots \quad (29)$$

が配置できなく、さらに全長が大きくなり好ましくないからである。

【0055】さらに、条件式(29)は以下の条件式(30)の範囲内であることがより望ましい。

$$\dots \quad (30)$$

てテレセントリック性を保つことができる。

### 【0056】

$$-R_1 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 0.7 \quad \dots \quad (31)$$

曲率が強くなる非球面であるのが良い。

### 【0057】

【発明の実施の形態】以下、本発明による撮影レンズの

実施例1～16について説明する。本発明で使用している回折光学素子を含む光学系の設計方法としては、Sweatt Modelが有名であり、これについては、W. C. Sweatt, "NEW METHODS OF DESIGNING HOLOGRAPHIC OPTICAL ELEMENTS" SPIE vol. 126, Clever Optics 46-53(1977)に詳細が記載されている。これは、回折光学素子を屈折率の極めて大きな仮想の屈折レンズ (ultra-high index lens)として置き換えて\*

$$Z = CY^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+K) C^2 Y^2}] + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \dots \dots \quad (a)$$

ただし、Cは面頂における曲率 ( $= 1/r$ 、rは曲率半径)、Kは円錐係数、 $A_4$ 、 $A_6$ 、 $A_8$ 、 $A_{10}$ はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。

【0059】また、回折面と厚みが0で接する面はDOEの基材表面である。そして、実際の製造においては、回折面の非球面形状と基材表面の形状との差及び屈折率から位相変化を求め、この位相変化を回折格子のピッチに換算して基材表面上に回折格子を形成する。つまり、後述する各実施例において、最終的にレンズとしての作用を有するのは基材の面である。

【0060】また、DOEのパワーは、ultra-high index法におけるDOE単体のパワーであり、また、回折光学素子のパワーは特に曲率のある基板上にDOEがある場合、回折光学素子の基板のみの屈折作用のパワーである。また、最も像面側にある3つの平行平板は、それぞれ赤外カットフィルター、ローパスフィルター、CCD撮像素子のカバーガラスを想定したものである。

【0061】さて、図1～図10にそれぞれ実施例1、2、5、6、7、8、10、12、14、15の光軸を含む断面と光路を示す図を示す。図中、Sは開口絞り、Dは回折面 (DOE)、Iは像面を示す。なお、実施例3、4は図2と、実施例9、11は図7と、実施例13は図8と、実施例16は図10と同様の構成であるので、図示は省く。これら実施例中、実施例1～8は、回折面を平面に設けた実施例であり、実施例9～16は、回折面を曲率を有する面に設けた実施例である。

【0062】実施例1～5は、前群に1つの負のパワーのレンズを配置し、開口絞りを挟んで、後群に1つの正のパワーの屈折レンズと1つの回折光学素子を配置し、全系で3枚構成となっている。これらの実施例は極めて少ないレンズ構成でも軸外収差が良好に補正されており、さらに軸上色収差及び倍率色収差が十分に補正されている。

【0063】実施例1は、図1に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと平行平面板の像側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズ物体側の面、両凸レンズ

\* 設計する手法であるが、以下の各実施例においても、この手法を使用する。なお、本実施例の回折光学素子は、波長576.56nmで仮想屈折率を1001で設計している。また、ウルトラ・ハイ・インデックスのレンズの非球面は、以下に示すような通常の非球面式にて記載する。すなわち、光軸方向をZ軸、光軸と垂直な方向をY軸とすると、非球面は以下の式にて表される。

#### 【0058】

$$Z = CY^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+K) C^2 Y^2}] + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \dots \dots \quad (a)$$

の像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。また、2枚の屈折レンズに同一硝材を使用している。屈折レンズ系で倍率色収差が非常に大きく発生しているため、回折面を極力軸外主光線の高い位置に配置、つまり、回折面を開口絞りから極力離れた位置に配することで、倍率色収差を良好に補正している。そのため、本実施例では、回折面が回折光学素子の像側の面に付けられている。また、回折面に非球面効果を持たせてあるため、負レンズと正レンズで発生した軸外収差、特にコマ収差と非点収差を良好に補正している。

【0064】実施例2は、図2に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと平行平面板の物体側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズ像側の面、両凸レンズの像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。また、屈折光学系及び回折光学素子が全て同一のプラスチックで設計されている。この実施例も良好に軸上及び倍率の色収差、軸外収差が補正されており、画角周辺部まで良好な結像性能が得られている。また、光学素子全てをプラスチックの成形で製作することで、コストが大幅に削減できる。

【0065】実施例3は、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと平行平面板の物体側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズ物体側の面、両凸レンズの像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。また、前群の負レンズに低分散の光学ガラスを、後群の屈折レンズに高分散の光学ガラスを使用している。通常、軸上色収差を補正するには、前群の負レンズには高分散ガラスを用い、後群の正レンズには低分散ガラスを用いるのが一般的であるが、このようにガラスのアスペクト比を逆に配置しても、回折面は異常分散性のため、軸上色収差を十分補正できる。特に、極力軸上マージナル光線の高い位置、つまり、開口絞りに近い位置に回折面を配置することで、軸上色収差を良好に補正している。したがって、後群の全長を短くすることができ、その結果撮影レンズの全長も短くすることが可能となる。また、回折面の異常分散性

という特徴から、軸外光束の低い位置に配しても倍率色収差を良好に補正できる。さらに、回折面は非球面効果を有しているため、高次の倍率色収差も完全に除去していく、画角周辺部まで良好な結像性能が得られている。

【0066】実施例4は、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと平行平面板の物体側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズ物体側の面、両凸レンズの像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。また、前群の負レンズに高分散の光学ガラスを、後群の正レンズに低分散の光学ガラスを使用している。この場合、屈折レンズ系で極力軸上色収差を抑えることができるが、負の倍率色収差が大きく発生している。そのため、実施例1同様に、軸外主光線の光線高が極力高い位置、つまり、開口絞りから像側に離れた位置に回折面を配置することで、倍率色収差を良好に補正することができる。したがって、この実施例も他の実施例同様、画角周辺部まで良好に収差が補正されている。

【0067】実施例5は、図3に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと凸平レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズ物体側の面、両凸レンズの像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。この実施例は、回折光学素子の回折面が付いていない面に曲率を付けた例で、後群の屈折レンズの個々の面のパワーを弱くすることができ、個々の面から発生する軸外収差を小さく抑えることができ、良好に各収差を補正でき、より好ましい。

【0068】実施例6は、図4に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと平行平面板の物体側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズ物体側の面、両凸レンズの像側の面、正メニスカスレンズの像側の面、回折面の4面に非球面を用いている。この実施例は、後群の屈折レンズを2枚構成することにより軸外収差がより良好に補正され、またレンズ全長も短くすることが可能となる好ましい実施例である。

【0069】実施例7、8は、前群が1つの正のパワーの屈折レンズと1つの負のパワーの屈折レンズの合計2枚で構成され、開口絞りを挟んで、後群に屈折レンズを1枚、回折光学素子を1枚の全系で4枚構成となっている。これらの実施例においても、非常に少ないレンズ構成で軸外収差が良好に補正されており、さらに軸上色収差及び倍率色収差が十分に補正されている。

【0070】実施例7は、図5に示すように、前群は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズと物体側に凸

面を向けた負メニスカスレンズの2枚からなり、後群は、平行平面板の像側の面に回折面を設けた回折光学素子と両凸レンズからなり、後記する数値データに示すように、回折面、両凸レンズの像側の面の2面に非球面を用いている。この実施例は、前群が高分散の正レンズと低分散の負レンズで構成されているため、前群で極力倍率色収差を抑えて、回折面は開口絞りの近い位置に配置し、軸上色収差を良好に補正した実施例である。これは、実施例3同様に、撮影レンズ系のコンパクト化が可能であり、画角周辺部まで良好な結像性能が得られる。また、回折光学素子の回折面が付いていない側に曲率を付けければ、より収差が良好に補正されるため、好ましい。

【0071】実施例8は、図6に示すように、前群は、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズと物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズの2枚からなり、後群は、両凸レンズと平行平面板の物体側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、正メニスカスレンズの物体側の面、両凸レンズの像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。この実施例は、前群及び回折光学素子を同一プラスチックで構成している。この実施例も、他の実施例同様、画角周辺部まで良好に収差が補正され、低コスト化も図られている。

【0072】実施例9～16は、前群は1つの負のパワーのレンズで構成され、開口絞りを挟んで、後群は1つの曲率のある面に正のパワーの回折面を有する回折光学素子を含むレンズ構成となっている。これらの実施例は、曲率の持った面に回折面を有しているため、軸外光束や軸上マージナル光線が回折面に対して垂直入射に近い入射角度となっており、回折効率の低下を極力防ぎ、さらにレンズ構成枚数を少なくすることを目的とした実施例である。

【0073】実施例9は、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの物体側の面、物体側の両凸レンズの像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が3枚構成となっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0074】実施例10は、図7に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの物体側の面、物体側の両凸レンズの像側の面、回折面の3面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が3枚構成と

なっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0075】実施例11は、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、両凸レンズと両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの物体側の面、回折面の2面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が3枚構成となっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0076】実施例12は、図8に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの物体側の面、回折面の2面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が3枚構成となっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0077】実施例13は、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズと両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの物体側の面、回折面の2面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が3枚構成となっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0078】実施例14は、図9に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折\*

$r_1 = 7.7397$ (非球面)	$d_1 = 1.0961$	$n_{41} = 1.53996$	$v_{41} = 59.45$
$r_2 = 2.6947$	$d_2 = 4.4445$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 2.8391$		
$r_4 = 11.1510$	$d_4 = 4.0008$	$n_{42} = 1.53996$	$v_{42} = 59.45$
$r_5 = -4.9152$ (非球面)	$d_5 = 1.4514$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 2.0000$	$n_{43} = 1.45851$	$v_{43} = 66.75$
$r_7 = \infty$	$d_7 = 0$	$n_{44} = 1000$	$v_{44} = -3.45$
$r_8 = -7.780 \times 10^4$	$d_8 = 1.4877$		
(非球面)			
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.6000$	$n_{45} = 1.51633$	$v_{45} = 64.15$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 2.0200$	$n_{46} = 1.51633$	$v_{46} = 64.15$
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 1.6000$		
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 0.7500$	$n_{47} = 1.48749$	$v_{47} = 70.21$
$r_{13} = \infty$	$d_{13} = 1.2098$		
$r_{14} = \infty$ (像面)			

\* 光学素子1枚からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの両面、両凸レンズ（回折光学素子）の物体側の面、回折面の4面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が2枚構成となっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0079】実施例15は、図10に示すように、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子1枚からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの物体側の面、両凸レンズ（回折光学素子）の物体側の面、回折面の3面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が2枚構成となっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0080】実施例16は、前群は物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ1枚からなり、後群は両凸レンズの像側の面に回折面を設けた回折光学素子1枚からなり、後記する数値データに示すように、負メニスカスレンズの物体側の面、両凸レンズ（回折光学素子）の物体側の面、回折面の3面に非球面を用いている。この実施例は、撮影レンズ全系が2枚構成となっており、この極めて少ないレンズ構成で軸外収差及び色収差が良好に補正されている。また、全長も短く、極めて低コストに製作することができる。

【0081】以下に、上記実施例1～16の数値データを示す。各データ中、記号は上記の他、 $F_{10}$ はFナンバー、 $r_1, r_2, \dots$ は各レンズ面の曲率半径、 $d_1, d_2, \dots$ は各レンズ面間の間隔、 $n_{41}, n_{42}, \dots$ は各レンズの $d - 1$  lineの屈折率、 $v_{41}, v_{42}, \dots$ は $d - 1$  lineのアッペ数であり、また、非球面形状は前記(a)式にて表される。

#### 【0082】実施例1

## 非球面係数

## 第1面

$K = 0$

$A_4 = 1.1852 \times 10^{-3}$

$A_6 = -2.0846 \times 10^{-5}$

$A_8 = 4.6474 \times 10^{-6}$

$A_{10} = -9.2890 \times 10^{-8}$

## 第5面

$K = 0$

$A_4 = 1.9697 \times 10^{-3}$

$A_6 = 1.4761 \times 10^{-6}$

$A_8 = 3.3153 \times 10^{-7}$

$A_{10} = 6.0026 \times 10^{-8}$

## 第8面

$K = -1.0000$

$A_4 = -3.2821 \times 10^{-7}$

$A_6 = 2.8060 \times 10^{-9}$

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

$f = 5.0984$

$F_{10} = 2.8$

$\phi_{DDE} / \phi = 0.06553$

$D_{DDE} / f = 2.01854$

$\phi_{REF} / \phi = 0.73650$

$E_{XP_{DDE}} / f = 5.038$

$f / f_r = -0.61517$

$D_{rs} / f = 1.08673$

$R_{11} / D_{rs} = 0.60631$

$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.38813$

$D_{st} / f = 2.01854$

$(R_s + R_b) / (R_s - R_b) = 2.06829.$

## 【0083】実施例2

$r_1 = 6.1271 \quad d_1 = 0.8000 \quad n_{d1} = 1.49241 \quad v_{d1} = 57.66$

$r_2 = 2.1845 \text{ (非球面)} \quad d_2 = 3.6480$

$r_3 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_3 = 2.4758$

$r_4 = 10.7443 \quad d_4 = 3.5202 \quad n_{d2} = 1.49241 \quad v_{d2} = 57.66$

$r_5 = -4.0459 \text{ (非球面)} \quad d_5 = 2.1375$

$r_6 = 7.959 \times 10^4 \quad d_6 = 0 \quad n_{d3} = 1000 \quad v_{d3} = -3.45$

(非球面)

$r_7 = \infty \quad d_7 = 1.5000 \quad n_{d4} = 1.49241 \quad v_{d4} = 57.66$

$r_8 = \infty \quad d_8 = 1.0000$

$r_9 = \infty \quad d_9 = 1.6000 \quad n_{d5} = 1.51633 \quad v_{d5} = 64.15$

$r_{10} = \infty \quad d_{10} = 2.0200 \quad n_{d6} = 1.51633 \quad v_{d6} = 64.15$

$r_{11} = \infty \quad d_{11} = 1.6000$

$r_{12} = \infty \quad d_{12} = 0.7500 \quad n_{d7} = 1.48749 \quad v_{d7} = 70.21$

$r_{13} = \infty \quad d_{13} = 1.2095$

$r_{14} = \infty \text{ (像面)}$

## 非球面係数

## 第2面

$K = 0$

$A_4 = -1.4442 \times 10^{-3}$

$A_6 = -2.6631 \times 10^{-5}$

$A_8 = 8.8923 \times 10^{-6}$

$A_{10} = -2.0382 \times 10^{-8}$

## 第5面

$K = 0$

$$\begin{aligned}A_4 &= 2.7192 \times 10^{-1} \\A_6 &= 9.7868 \times 10^{-5} \\A_8 &= -6.2799 \times 10^{-6} \\A_{10} &= 6.2732 \times 10^{-7}\end{aligned}$$

## 第6面

$$\begin{aligned}K &= 0 \\A_4 &= 3.9604 \times 10^{-7} \\A_6 &= -2.7532 \times 10^{-8}\end{aligned}$$

A<sub>8</sub> = 0

A<sub>10</sub> = 0

f = 5.0404

$\phi_{DDE} / \phi = 0.06333$

$\phi_{REF} / \phi = 0.77813$

f / f<sub>r</sub> = -0.68215

R<sub>12</sub> / D<sub>12</sub> = 0.59882

D<sub>SL</sub> / f = 1.91125

F<sub>SL</sub> = 2.8

D<sub>DDE</sub> / f = 1.18958

EXP<sub>DDE</sub> / f = 5.959

D<sub>FS</sub> / f = 0.88246

(R<sub>1</sub> + R<sub>2</sub>) / (R<sub>1</sub> - R<sub>2</sub>) = 0.45289

(R<sub>3</sub> + R<sub>4</sub>) / (R<sub>3</sub> - R<sub>4</sub>) = 2.10814。

## 【0084】実施例3

r <sub>1</sub> =	6.6382 (非球面)	d <sub>1</sub> = 0.8404	n <sub>41</sub> = 1.51633	v <sub>41</sub> = 64.15
r <sub>2</sub> =	3.3423	d <sub>2</sub> = 8.4844		
r <sub>3</sub> =	∞ (絞り)	d <sub>3</sub> = 1.3659		
r <sub>4</sub> =	17.8782	d <sub>4</sub> = 4.0742	n <sub>42</sub> = 1.76182	v <sub>42</sub> = 26.52
r <sub>5</sub> =	-7.8959 (非球面)	d <sub>5</sub> = 1.0026		
r <sub>6</sub> =	4.068 × 10 <sup>4</sup> (非球面)	d <sub>6</sub> = 0	n <sub>43</sub> = 1000	v <sub>43</sub> = -3.45
r <sub>7</sub> =	∞	d <sub>7</sub> = 2.0000	n <sub>44</sub> = 1.52542	v <sub>44</sub> = 55.78
r <sub>8</sub> =	∞	d <sub>8</sub> = 1.0800		
r <sub>9</sub> =	∞	d <sub>9</sub> = 1.6000	n <sub>45</sub> = 1.51633	v <sub>45</sub> = 64.15
r <sub>10</sub> =	∞	d <sub>10</sub> = 2.0200	n <sub>46</sub> = 1.51633	v <sub>46</sub> = 64.15
r <sub>11</sub> =	∞	d <sub>11</sub> = 1.6000		
r <sub>12</sub> =	∞	d <sub>12</sub> = 0.7500	n <sub>47</sub> = 1.48749	v <sub>47</sub> = 70.21
r <sub>13</sub> =	∞	d <sub>13</sub> = 0.7220		
r <sub>14</sub> =	∞ (像面)			

## 非球面係数

## 第1面

$$\begin{aligned}K &= 0 \\A_4 &= 5.1003 \times 10^{-4} \\A_6 &= 2.0208 \times 10^{-5} \\A_8 &= -4.4085 \times 10^{-7} \\A_{10} &= 8.0261 \times 10^{-9}\end{aligned}$$

## 第5面

$$\begin{aligned}K &= 0 \\A_4 &= 5.9674 \times 10^{-4} \\A_6 &= -2.4189 \times 10^{-5} \\A_8 &= -3.0128 \times 10^{-6} \\A_{10} &= 1.6469 \times 10^{-7}\end{aligned}$$

## 第6面

$$\begin{aligned}K &= 0 \\A_4 &= 8.0194 \times 10^{-4} \\A_6 &= -3.6732 \times 10^{-5} \\A_8 &= 0\end{aligned}$$

$A_{10} = 0$ 

$f = 5.11384$

$\phi_{DDE} / \phi = 0.12583$

$\phi_{REF} / \phi = 0.66292$

$f / f_r = -0.35817$

$R_{12} / D_{12} = 0.39394$

$D_{st} / f = 1.65095$

$F_{10} = 2.84$

$D_{DDE} / f = 1.25986$

$EXP_{DDE} / f = 2.594$

$D_{rs} / f = 1.82346$

$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.38730$

$(R_s + R_b) / (R_s - R_b) = 3.02820.$

## 【0085】実施例4

$r_1 = 8.1510$  (非球面)

$r_2 = 2.9678$

$r_3 = \infty$  (絞り)

$r_4 = 9.8660$

$r_5 = -5.5846$  (非球面)

$r_6 = 9.121 \times 10^4$   
(非球面)

$d_1 = 1.4179$

$d_2 = 6.5062$

$d_3 = 3.2618$

$d_4 = 4.0828$

$d_5 = 2.2915$

$d_6 = 0$

$n_{d1} = 1.55690$

$v_{d1} = 48.55$

$n_{d2} = 1.51633$

$v_{d2} = 64.15$

$n_{d3} = 1000$

$v_{d3} = -3.45$

$n_{d4} = 1.52542$

$v_{d4} = 55.78$

$n_{d5} = 1.51633$

$v_{d5} = 64.15$

$n_{d6} = 1.51633$

$v_{d6} = 64.15$

$d_{11} = 1.6000$

$d_{12} = 0.7500$

$d_{13} = 1.1694$

$n_{d7} = 1.48749$

$v_{d7} = 70.21$

$r_{14} = \infty$  (像面)

## 非球面係数

## 第1面

$K = 0$

$A_4 = 7.7876 \times 10^{-4}$

$A_6 = 2.4553 \times 10^{-5}$

$A_8 = -9.2259 \times 10^{-7}$

$A_{10} = 7.2604 \times 10^{-8}$

## 第5面

$K = 0$

$A_4 = 1.8902 \times 10^{-3}$

$A_6 = -4.3467 \times 10^{-6}$

$A_8 = -1.4919 \times 10^{-6}$

$A_{10} = 8.8576 \times 10^{-9}$

## 第6面

$K = 0$

$A_4 = 4.2564 \times 10^{-7}$

$A_6 = -3.1464 \times 10^{-9}$

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

$f = 5.0346$

$\phi_{DDE} / \phi = 0.05520$

$\phi_{REF} / \phi = 0.66337$

$f / f_r = -0.54197$

$R_{12} / D_{12} = 0.45615$

$D_{st} / f = 2.31125$

$F_{10} = 2.8$

$D_{DDE} / f = 1.91400$

$EXP_{DDE} / f = 7.712$

$D_{rs} / f = 1.57393$

$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.27710$

$(R_s + R_b) / (R_s - R_b) = 2.14516.$

## 【0086】実施例5

$r_1 = 8.5281$  (非球面)

$d_1 = 1.4618$

$n_{d1} = 1.49241$

$v_{d1} = 57.66$

27

$r_1 = 3.1543$	$d_1 = 7.0181$
$r_2 = \infty$ (絞り)	$d_2 = 1.2414$
$r_3 = 22.9365$	$d_3 = 3.4949$
$r_4 = -5.8210$ (非球面)	$d_4 = 1.3572$
$r_5 = 10.4847$	$d_5 = 3.3788$
$r_6 = \infty$	$d_6 = 0$
$r_7 = -6.559 \times 10^4$ (非球面)	$d_7 = 1.1393$
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.6000$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 2.0200$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.6000$
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 0.7500$
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 0.7991$
$r_{13} = \infty$	$d_{13} = 0.7991$
$r_{14} = \infty$ (像面)	

## 非球面係数

## 第1面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 4.2526 \times 10^{-4} \\ A_6 &= 1.6151 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -5.0518 \times 10^{-7} \\ A_{10} &= 2.5832 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

## 第5面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 7.7318 \times 10^{-4} \\ A_6 &= -7.6264 \times 10^{-7} \\ A_8 &= -4.8296 \times 10^{-6} \\ A_{10} &= 4.8540 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

## 第8面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= -4.8301 \times 10^{-8} \\ A_6 &= 9.6326 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

$f = 5.0641$

$F_{10} = 2.8$

$\phi_{DDE} / \phi = 0.07721$

$D_{DDE} / f = 1.87050$

$\phi_{REF} / \phi = 0.70857$

$E \times P_{DDE} / f = 3.166$

$f / f_r = -0.45343$

$D_{FS} / f = 1.67452$

$R_{12} / D_{FS} = 0.44945$

$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.59517$

$D_{SL} / f = 1.87050$

$(R_+ + R_-) / (R_+ - R_-) = 2.17397$

## 【0087】実施例6

$r_1 = 6.8304$ (非球面)	$d_1 = 1.4347$	$n_{41} = 1.49241$	$v_{41} = 57.66$
$r_2 = 2.2988$	$d_2 = 3.5779$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 1.4072$		
$r_4 = 35.3085$	$d_4 = 3.8067$	$n_{42} = 1.49241$	$v_{42} = 57.66$
$r_5 = -6.8005$ (非球面)	$d_5 = 0.5419$		
$r_6 = -21.1276$	$d_6 = 2.0264$	$n_{43} = 1.49241$	$v_{43} = 57.66$
$r_7 = -4.5055$ (非球面)	$d_7 = 1.4642$		
$r_8 = 9.054 \times 10^4$ (非球面)	$d_8 = 0$	$n_{44} = 1000$	$v_{44} = -3.45$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 59.5000$	$n_{45} = 1.49241$	$v_{45} = 57.66$

$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 1.0000$
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 1.6000$
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 2.0200$
$r_{13} = \infty$	$d_{13} = 1.6000$
$r_{14} = \infty$	$d_{14} = 0.7500$
$r_{15} = \infty$	$d_{15} = 1.2114$
$r_{16} = \infty$ (像面)	

## 非球面係数

## 第1面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 1.5537 \times 10^{-3} \\ A_6 &= 6.8786 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -6.9016 \times 10^{-6} \\ A_{10} &= 5.9371 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

## 第5面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 1.0503 \times 10^{-3} \\ A_6 &= -4.5383 \times 10^{-5} \\ A_8 &= 5.5161 \times 10^{-6} \\ A_{10} &= -1.7449 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

## 第7面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 1.5267 \times 10^{-3} \\ A_6 &= 3.8840 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -2.6791 \times 10^{-6} \\ A_{10} &= 1.9990 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

## 第8面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 3.0739 \times 10^{-7} \\ A_6 &= -1.7796 \times 10^{-9} \\ A_8 &= 0 \\ A_{10} &= 0 \end{aligned}$$

$f = 4.9181$

$F_{10} = 2.8$

$\phi_{DDE} / \phi = 0.05432$

$D_{DDE} / f = 1.88009$

$\phi_{REF} / \phi = 0.75516$

$E \times P_{DDE} / f = 9.842$

$f / f_r = -0.62590$

$D_{rs} / f = 1.01922$

$R_{12} / D_{12} = 0.64251$

$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.67701$

$1.54211$

$D_{s-L} / f = 2.18509$

$(R_s + R_b) / (R_s - R_b) = 2.01458$

## 【0088】実施例7

$r_1 = 15.1841$	$d_1 = 2.6305$	$n_{41} = 1.84666 \quad v_{41} = 23.78$
$r_2 = 47.3824$	$d_2 = 0.8494$	
$r_3 = 12.2804$	$d_3 = 0.7131$	$n_{42} = 1.48749 \quad v_{42} = 70.21$
$r_4 = 2.9021$	$d_4 = 3.4903$	
$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 1.4054$	
$r_6 = \infty$	$d_6 = 1.5000$	$n_{43} = 1.45851 \quad v_{43} = 66.75$
$r_7 = 4.072 \times 10^4$	$d_7 = 0$	$n_{44} = 1000 \quad v_{44} = -3.45$
(非球面)		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.9958$	
$r_9 = 16.1274$	$d_9 = 50.0000$	$n_{45} = 1.76200 \quad v_{45} = 40.10$

$r_{10} = -5.4552$	(非球面)	$d_{10} = 0.2500$
$r_{11} = \infty$		$d_{11} = 1.6000$
$r_{12} = \infty$		$d_{12} = 2.0200$
$r_{13} = \infty$		$d_{13} = 1.6000$
$r_{14} = \infty$		$d_{14} = 0.7500$
$r_{15} = \infty$		$d_{15} = 1.5700$
$r_{16} = \infty$	(像面)	

## 非球面係数

## 第7面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= -8.2050 \times 10^{-7} \\ A_6 &= 3.5990 \times 10^{-8} \\ A_8 &= 2.7916 \times 10^{-9} \\ A_{10} &= -3.5372 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

## 第10面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 1.0962 \times 10^{-3} \\ A_6 &= 2.1851 \times 10^{-5} \\ A_8 &= 1.7086 \times 10^{-6} \\ A_{10} &= -4.4857 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

$f = 5.0304$

$\phi_{DDE} / \phi = 0.12347$

$\phi_{REF} / \phi = 0$

$f / f_r = -0.34458$

$R_{12} / D_{15} = 0.83145$

$D_{st} / f = 1.37189$

$F_{s0} = 2.8$

$D_{DDE} / f = 0.57756$

$EXP_{DDE} / f = 0.503$

$D_{FS} / f = 1.52739$

$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.49448$

$(R_s + R_t) / (R_s - R_t) = 1.61888$

## 【0089】実施例8

$r_1 = 12.6201$	(非球面)	$d_1 = 2.2412$	$n_{41} = 1.49241$	$v_{41} = 57.66$
$r_2 = 261.4476$		$d_2 = 0.1500$		
$r_3 = 19.0590$		$d_3 = 0.7000$	$n_{42} = 1.49241$	$v_{42} = 57.66$
$r_4 = 2.6155$		$d_4 = 3.7498$		
$r_5 = \infty$	(絞り)	$d_5 = 2.9187$		
$r_6 = 18.9140$		$d_6 = 3.3951$	$n_{43} = 1.67790$	$v_{43} = 55.33$
$r_7 = -5.2254$	(非球面)	$d_7 = 1.4776$		
$r_8 = 7.800 \times 10^4$		$d_8 = 0$	$n_{44} = 1000$	$v_{44} = -3.45$
(非球面)				
$r_9 = \infty$		$d_9 = 1.5000$	$n_{45} = 1.49241$	$v_{45} = 57.66$
$r_{10} = \infty$		$d_{10} = 1.1500$		
$r_{11} = \infty$		$d_{11} = 1.6000$	$n_{46} = 1.51633$	$v_{46} = 64.15$
$r_{12} = \infty$		$d_{12} = 2.0200$	$n_{47} = 1.51633$	$v_{47} = 64.15$
$r_{13} = \infty$		$d_{13} = 1.6000$		
$r_{14} = \infty$		$d_{14} = 0.7500$	$n_{48} = 1.48749$	$v_{48} = 70.21$
$r_{15} = \infty$		$d_{15} = 0.9899$		
$r_{16} = \infty$	(像面)			

## 非球面係数

## 第1面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 3.5131 \times 10^{-4} \\ A_6 &= -7.5155 \times 10^{-6} \\ A_8 &= 5.3923 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

$$A_0 = -1.7821 \times 10^{-8}$$

第7面

K = 0

$$A_1 = 1.5188 \times 10^{-3}$$

$$A_2 = -4.5506 \times 10^{-6}$$

$$A_3 = 3.7380 \times 10^{-7}$$

$$A_4 = 2.0762 \times 10^{-9}$$

第8面

K = 0

$$A_1 = 3.2781 \times 10^{-7}$$

$$A_2 = -2.6210 \times 10^{-8}$$

$$A_3 = 0$$

$$A_4 = 0$$

$$f = 5.1587$$

$$F_{w0} = 2.8$$

$$\phi_{DDE} / \phi = 0.06614$$

$$D_{DDE} / f = 1.51034$$

$$\phi_{REF} / \phi = 0.80561$$

$$E_{XPE} / f = 7.183$$

$$f / f_r = -0.56404$$

$$D_{FS} / f = 1.32610$$

$$R_{12} / D_{12} = 0.69750$$

$$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.5670$$

$$D_{SL} / f = 1.80110$$

$$(R_s + R_b) / (R_s - R_b) = 1.31812.$$

## 【0090】実施例9

$$r_1 = 8.4983 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 1.6512 \quad n_{d1} = 1.49241 \quad v_{d1} = 57.66$$

$$r_2 = 2.8359$$

$$d_2 = 7.0039$$

$$r_3 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_3 = 1.0384$$

$$r_4 = 21.9781$$

$$d_4 = 2.9285$$

$$r_5 = -5.3400 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 2.8248$$

$$r_6 = 11.6428$$

$$d_6 = 3.0503$$

$$r_7 = -1021.0511$$

$$d_7 = 0$$

$$r_8 = -1004.8016 \text{ (非球面)}$$

$$d_8 = 0.6763$$

$$r_9 = \infty$$

$$d_9 = 1.6000$$

$$r_{10} = \infty$$

$$d_{10} = 2.0200$$

$$r_{11} = \infty$$

$$d_{11} = 1.6000$$

$$r_{12} = \infty$$

$$d_{12} = 0.7500$$

$$r_{13} = \infty$$

$$d_{13} = 1.0248$$

$$r_{14} = \infty \text{ (像面)}$$

非球面係数

第1面

K = 0

$$A_1 = 4.7735 \times 10^{-4}$$

$$A_2 = 4.1743 \times 10^{-5}$$

$$A_3 = -1.5939 \times 10^{-6}$$

$$A_4 = 7.1802 \times 10^{-7}$$

第5面

K = 0

$$A_1 = 1.0079 \times 10^{-3}$$

$$A_2 = 1.8064 \times 10^{-5}$$

$$A_3 = -1.8681 \times 10^{-6}$$

$$A_4 = 2.1173 \times 10^{-8}$$

第8面

K = 0

$$A_1 = -9.9672 \times 10^{-1}$$

$$A_s = 1.7085 \times 10^{-4}$$

$$A_s = 0$$

$$A_{s0} = 0$$

$$f = 5.0476$$

$$F_{s0} = 2.8$$

$$\phi_{DDE} / \phi = 0.07995$$

$$D_{DDE} / f = 1.94983$$

$$C_{DDE} \cdot f = -0.00494$$

$$\phi_{REF} / \phi = 0.69638$$

$$f / f_r = -0.52778$$

$$D_{rs} / f = 1.71468$$

$$R_{12} / D_{rs} = 0.40491$$

$$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.60905$$

$$(R_2 + R_4) / (R_2 - R_4) = -0.97745$$

$$D_{s1} / f = 1.94983$$

$$(R_2 + R_4) / (R_2 - R_4) = 2.00167$$

## 【0091】実施例10

$$r_1 = 12.0309 \text{ (非球面)}$$

$$d_1 = 1.8462 \quad n_{d1} = 1.49241 \quad v_{d1} = 57.66$$

$$r_2 = 2.7023$$

$$d_2 = 5.2608$$

$$r_3 = \infty \text{ (絞り)}$$

$$d_3 = 1.0005$$

$$r_4 = 18.6613$$

$$d_4 = 3.1381 \quad n_{d2} = 1.49241 \quad v_{d2} = 57.66$$

$$r_5 = -5.1819 \text{ (非球面)}$$

$$d_5 = 2.3912$$

$$r_6 = 19.9615$$

$$d_6 = 3.0885 \quad n_{d3} = 1.49241 \quad v_{d3} = 57.66$$

$$r_7 = -19.1145$$

$$d_7 = 0 \quad n_{d4} = 1000 \quad v_{d4} = -3.45$$

$$r_8 = -19.1084 \text{ (非球面)}$$

$$d_8 = 1.5465$$

$$r_9 = \infty$$

$$d_9 = 1.6000 \quad n_{d5} = 1.51633 \quad v_{d5} = 64.15$$

$$r_{10} = \infty$$

$$d_{10} = 2.0200 \quad n_{d6} = 1.51633 \quad v_{d6} = 64.15$$

$$r_{11} = \infty$$

$$d_{11} = 1.6000$$

$$r_{12} = \infty$$

$$d_{12} = 0.7500 \quad n_{d7} = 1.48749 \quad v_{d7} = 70.21$$

$$r_{13} = \infty$$

$$d_{13} = 0.9392$$

$$r_{14} = \infty \text{ (像面)}$$

## 非球面係数

## 第1面

$$K = 0$$

$$A_s = 4.3275 \times 10^{-4}$$

$$A_s = 5.6071 \times 10^{-5}$$

$$A_s = -4.7597 \times 10^{-6}$$

$$A_{s0} = 1.7171 \times 10^{-7}$$

## 第5面

$$K = 0$$

$$A_s = 9.6000 \times 10^{-4}$$

$$A_s = 1.9302 \times 10^{-5}$$

$$A_s = -1.6553 \times 10^{-6}$$

$$A_{s0} = 1.9197 \times 10^{-6}$$

## 第8面

$$K = 0$$

$$A_s = 8.8415 \times 10^{-8}$$

$$A_s = 9.8677 \times 10^{-9}$$

$$A_s = 0$$

$$A_{s0} = 0$$

$$f = 4.9168$$

$$F_{s0} = 2.8$$

$$\phi_{DDE} / \phi = 0.08284$$

$$D_{DDE} / f = 1.95619$$

$$C_{DDE} \cdot f = -0.25723$$

$$\phi_{REF} / \phi = 0.70161$$

$$f / f_r = -0.64934$$

$$D_{rs} / f = 1.44545$$

$$R_{12} / D_{rs} = 0.51366$$

$$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.56533$$

$$(R_2 + R_4) / (R_2 - R_4) = 0.502168$$

$$D_{s1}/f = 1.65619$$

$$(R_+ + R_-) / (R_+ - R_-) = 1.57936.$$

## 【0092】実施例1 1

$r_1 = 7.8340$ (非球面)	$d_1 = 1.1851$	$n_{d1} = 1.49241$ $v_{d1} = 57.66$
$r_2 = 2.9684$	$d_2 = 6.0610$	
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.3533$	
$r_4 = 62.2194$	$d_4 = 2.9938$	$n_{d4} = 1.84666$ $v_{d4} = 23.78$
$r_5 = -10.4653$	$d_5 = 1.1158$	
$r_6 = 51.3378$	$d_6 = 3.0840$	$n_{d6} = 1.49241$ $v_{d6} = 57.66$
$r_7 = -8.2970$	$d_7 = 0$	$n_{d7} = 1000$ $v_{d7} = -3.45$
$r_8 = -8.2954$ (非球面)	$d_8 = 2.067$	
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.6000$	$n_{d9} = 1.51633$ $v_{d9} = 64.15$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 2.0200$	$n_{d10} = 1.51633$ $v_{d10} = 64.15$
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 1.6000$	
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 0.7500$	$n_{d12} = 1.48749$ $v_{d12} = 70.21$
$r_{13} = \infty$	$d_{13} = 0.8322$	
$r_{14} = \infty$ (像面)		

## 非球面係数

## 第1面

$$K = 0$$

$$A_4 = 3.1183 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 7.6221 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = -6.4538 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 2.5395 \times 10^{-7}$$

## 第8面

$$K = 0$$

$$A_4 = 4.7654 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = 6.4658 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

$$f = 5.1059$$

$$F_{s0} = 2.8$$

$$\phi_{DDE} / \phi = 0.11428$$

$$D_{DDE} / f = 1.47808$$

$$C_{DDE} \cdot f = -0.61539$$

$$\phi_{REF} / \phi = 0.71794$$

$$f / f_r = -0.48378$$

$$D_{FS} / f = 1.41915$$

$$R_{12} / D_{12} = 0.48976$$

$$(R_+ + R_-) / (R_+ - R_-) = 0.71204$$

$$(R_+ + R_-) / (R_+ - R_-) = 0.72174$$

$$D_{s1} / f = 1.47808$$

$$(R_+ + R_-) / (R_+ - R_-) = 2.22015.$$

## 【0093】実施例1 2

$r_1 = 5.6204$ (非球面)	$d_1 = 1.7029$	$n_{d1} = 1.49241$ $v_{d1} = 57.66$
$r_2 = 2.5562$	$d_2 = 5.3358$	
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 1.2757$	
$r_4 = -13.1472$	$d_4 = 1.8755$	$n_{d4} = 1.84666$ $v_{d4} = 23.78$
$r_5 = -6.5113$	$d_5 = 0.3000$	
$r_6 = 10.9908$	$d_6 = 4.0411$	$n_{d6} = 1.49241$ $v_{d6} = 57.66$
$r_7 = -12.0290$	$d_7 = 0$	$n_{d7} = 1000$ $v_{d7} = -3.45$
$r_8 = -12.0257$ (非球面)	$d_8 = 1.5000$	
$r_9 = \infty$	$d_9 = 1.6000$	$n_{d9} = 1.51633$ $v_{d9} = 64.15$
$r_{10} = \infty$	$d_{10} = 2.0200$	$n_{d10} = 1.51633$ $v_{d10} = 64.15$
$r_{11} = \infty$	$d_{11} = 1.6000$	
$r_{12} = \infty$	$d_{12} = 0.7500$	$n_{d12} = 1.48749$ $v_{d12} = 70.21$
$r_{13} = \infty$	$d_{13} = 50.9505$	

$r_{14} = \infty$  (像面)

## 非球面係数

## 第1面

$$K = 0$$

$$A_4 = 4.0173 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 9.5387 \times 10^{-6}$$

$$A_8 = -8.0095 \times 10^{-8}$$

$$A_{10} = 4.3187 \times 10^{-10}$$

## 第8面

$$K = 0$$

$$A_4 = 3.6488 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = 3.2784 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

$$f = 5.1500$$

$$F_{10} = 2.8$$

$$\begin{aligned} \phi_{DDE} / \phi &= 0.11922 & D_{DDE} / f &= 1.45482 \\ C_{DDE} \cdot f &= -0.42813 & \phi_{EEF} / \phi &= 0.77341 \\ f / f_F &= -0.4417 & D_{EEF} / f &= 1.36674 \\ R_{12} / D_{12} &= 0.47906 & (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= 2.96241 \\ (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= -0.0451 & D_{12} / f &= 1.45482 \\ (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= 2.66839. \end{aligned}$$

## 【0094】実施例13

$$\begin{aligned} r_1 &= 4.4818 \text{ (非球面)} & d_1 &= 1.4811 & n_{d1} &= 1.49241 & \nu_{d1} &= 57.66 \\ r_2 &= 2.1244 & d_2 &= 3.4094 \\ r_3 &= \infty \text{ (絞り)} & d_3 &= 0.9686 \\ r_4 &= -13.4317 & d_4 &= 1.8080 & n_{d4} &= 1.84666 & \nu_{d4} &= 23.78 \\ r_5 &= -5.5042 & d_5 &= 1.0360 \\ r_6 &= 61.4615 & d_6 &= 3.7542 & n_{d6} &= 1.58423 & \nu_{d6} &= 30.49 \\ r_7 &= -7.8046 & d_7 &= 0 & n_{d7} &= 1000 & \nu_{d7} &= -3.45 \\ r_8 &= -7.8027 \text{ (非球面)} & d_8 &= 1.0000 \\ r_9 &= \infty & d_9 &= 1.6000 & n_{d9} &= 1.51633 & \nu_{d9} &= 64.15 \\ r_{10} &= \infty & d_{10} &= 2.0200 & n_{d10} &= 1.51633 & \nu_{d10} &= 64.15 \\ r_{11} &= \infty & d_{11} &= 1.6000 \\ r_{12} &= \infty & d_{12} &= 0.7500 & n_{d12} &= 1.48749 & \nu_{d12} &= 70.21 \\ r_{13} &= \infty & d_{13} &= 0.9500 \\ r_{14} &= \infty \text{ (像面)} \end{aligned}$$

## 非球面係数

## 第1面

$$K = 0$$

$$A_4 = 7.7177 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = 1.0372 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -8.1160 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 1.1585 \times 10^{-8}$$

## 第8面

$$K = 0$$

$$A_4 = 4.7317 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = 9.2576 \times 10^{-9}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

$$f = 5.0001$$

$$F_{10} = 52.8$$

41

$$\begin{aligned}
 \phi_{\text{DDE}} / \phi &= 0.156 & D_{\text{DDE}} / f &= 1.51315 \\
 C_{\text{DDE}} \cdot f &= -0.64073 & \phi_{\text{REF}} / \phi &= 0.80841 \\
 f / f_r &= -0.48327 & D_{\text{RS}} / f &= 0.97798 \\
 R_{12} / D_{12} &= 0.62311 & (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= 2.38864 \\
 (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= 0.77465 \\
 D_{\text{SL}} / f &= 1.51315 & (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= 2.80241 .
 \end{aligned}$$

42

## 【0095】実施例14

$$\begin{aligned}
 r_1 &= 10.0529 \text{ (非球面)} & d_1 &= 0.8177 & n_{d1} &= 1.52542 & \nu_{d1} &= 55.78 \\
 r_2 &= 4.1302 \text{ (非球面)} & d_2 &= 7.7846 \\
 r_3 &= \infty \text{ (絞り)} & d_3 &= 2.1456 \\
 r_4 &= 11.5464 \text{ (非球面)} & d_4 &= 2.0451 & n_{d2} &= 1.52542 & \nu_{d2} &= 55.78 \\
 r_5 &= -5.2476 & d_5 &= 0 & n_{d3} &= 1000 & \nu_{d3} &= -3.45 \\
 r_6 &= -5.2473 \text{ (非球面)} & d_6 &= 3.0000 \\
 r_7 &= \infty & d_7 &= 1.6000 & n_{d4} &= 1.51633 & \nu_{d4} &= 64.15 \\
 r_8 &= \infty & d_8 &= 2.0200 & n_{d5} &= 1.51633 & \nu_{d5} &= 64.15 \\
 r_9 &= \infty & d_9 &= 1.6000 \\
 r_{10} &= \infty & d_{10} &= 0.7500 & n_{d6} &= 1.48749 & \nu_{d6} &= 70.21 \\
 r_{11} &= \infty & d_{11} &= 1.2128 \\
 r_{12} &= \infty \text{ (像面)}
 \end{aligned}$$

## 非球面係数

## 第1面

$$\begin{aligned}
 K &= 0 \\
 A_4 &= 6.2286 \times 10^{-3} \\
 A_6 &= -3.3614 \times 10^{-4} \\
 A_8 &= 2.2964 \times 10^{-5} \\
 A_{10} &= -5.8357 \times 10^{-7}
 \end{aligned}$$

## 第2面

$$\begin{aligned}
 K &= 0 \\
 A_4 &= 8.3847 \times 10^{-3} \\
 A_6 &= -5.9485 \times 10^{-5} \\
 A_8 &= 8.4662 \times 10^{-6} \\
 A_{10} &= 4.3637 \times 10^{-8}
 \end{aligned}$$

## 第4面

$$\begin{aligned}
 K &= 0 \\
 A_4 &= -1.4591 \times 10^{-3} \\
 A_6 &= 6.0927 \times 10^{-5} \\
 A_8 &= -6.4239 \times 10^{-5} \\
 A_{10} &= 8.9952 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

## 第6面

$$\begin{aligned}
 K &= 0 \\
 A_4 &= 4.3366 \times 10^{-7} \\
 A_6 &= -4.5855 \times 10^{-9} \\
 A_8 &= 1.9687 \times 10^{-9} \\
 A_{10} &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f &= 5.1998 & F_{\text{E0}} &= 2.8 \\
 \phi_{\text{DDE}} / \phi &= 0.0609 & D_{\text{DDE}} / f &= 0.80592 \\
 C_{\text{DDE}} \cdot f &= -0.99088 & \phi_{\text{REF}} / \phi &= 0.72549 \\
 f / f_r &= -0.37118 & D_{\text{RS}} / f &= 1.65435 \\
 R_{12} / D_{12} &= 0.53057 & (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= 0.37506 \\
 D_{\text{SL}} / f &= 0.80592 & (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) &= 2.39471 .
 \end{aligned}$$

## 【0096】実施例15

$r_1 =$	12.1305 (非球面)	$d_1 = 0.8000$	$n_{d1} = 1.49241 \quad v_{d1} = 57.66$
$r_2 =$	3.1060	$d_2 = 6.5548$	
$r_3 =$	$\infty$ (絞り)	$d_3 = 2.7536$	
$r_4 =$	19.8757 (非球面)	$d_4 = 3.0691$	$n_{d2} = 1.49241 \quad v_{d2} = 57.66$
$r_5 =$	-4.5079	$d_5 = 0$	$n_{d3} = 1000 \quad v_{d3} = -3.45$
$r_6 =$	-4.5078 (非球面)	$d_6 = 5.0000$	
$r_7 =$	$\infty$	$d_7 = 1.6000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad v_{d4} = 64.15$
$r_8 =$	$\infty$	$d_8 = 2.0200$	$n_{d5} = 1.51633 \quad v_{d5} = 64.15$
$r_9 =$	$\infty$	$d_9 = 1.6000$	
$r_{10} =$	$\infty$	$d_{10} = 0.7500$	$n_{d6} = 1.48749 \quad v_{d6} = 70.21$
$r_{11} =$	$\infty$	$d_{11} = 1.7126$	
$r_{12} =$	$\infty$ (像面)		

## 非球面係数

## 第1面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_1 &= 1.2001 \times 10^{-3} \\ A_2 &= -1.8605 \times 10^{-5} \\ A_3 &= -2.0195 \times 10^{-6} \\ A_4 &= 2.1873 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

## 第4面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_1 &= -2.1550 \times 10^{-3} \\ A_2 &= -1.8918 \times 10^{-4} \\ A_3 &= 8.5214 \times 10^{-6} \\ A_4 &= 2.5258 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

## 第6面

$K = 0$

$$\begin{aligned} A_1 &= 3.4561 \times 10^{-7} \\ A_2 &= -2.4669 \times 10^{-9} \\ A_3 &= 0 \\ A_4 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= 5.1506 & F_{10} &= 2.8 \\ \phi_{DDE} / \phi &= 0.04829 & D_{DDE} / f &= 1.13052 \\ C_{DDE} \cdot f &= -1.14255 & \phi_{REF} / \phi &= 0.66155 \\ f / f_r &= -0.58971 & D_{FS} / f &= 1.42796 \\ R_{12} / D_{FS} &= 0.47384 & (R_1 + R_4) / (R_1 - R_4) &= 0.63025 \\ D_{SL} / f &= 1.13052 & (R_2 + R_5) / (R_2 - R_5) &= 1.68834. \end{aligned}$$

## 【0097】実施例16

$r_1 =$	5.2075 (非球面)	$d_1 = 1.0142$	$n_{d1} = 1.49241 \quad v_{d1} = 57.66$
$r_2 =$	2.4698	$d_2 = 3.5541$	
$r_3 =$	$\infty$ (絞り)	$d_3 = 1.9017$	
$r_4 =$	95.5457 (非球面)	$d_4 = 3.1192$	$n_{d2} = 1.58423 \quad v_{d2} = 30.49$
$r_5 =$	-3.8364	$d_5 = 0$	$n_{d3} = 1000 \quad v_{d3} = -3.45$
$r_6 =$	-3.8361 (非球面)	$d_6 = 3.0160$	
$r_7 =$	$\infty$	$d_7 = 1.6000$	$n_{d4} = 1.51633 \quad v_{d4} = 64.15$
$r_8 =$	$\infty$	$d_8 = 2.0200$	$n_{d5} = 1.51633 \quad v_{d5} = 64.15$
$r_9 =$	$\infty$	$d_9 = 1.6000$	
$r_{10} =$	$\infty$	$d_{10} = 0.7500$	$n_{d6} = 1.48749 \quad v_{d6} = 70.21$
$r_{11} =$	$\infty$	$d_{11} = 50.5838$	

$r_{12} = \infty$  (像面)

## 非球面係数

## 第1面

$$K = 0$$

$$A_4 = 8.1523 \times 10^{-4}$$

$$A_6 = -1.3352 \times 10^{-5}$$

$$A_8 = 5.0095 \times 10^{-6}$$

$$A_{10} = 5.6386 \times 10^{-12}$$

## 第4面

$$K = 0$$

$$A_4 = -4.8364 \times 10^{-3}$$

$$A_6 = -2.1115 \times 10^{-4}$$

$$A_8 = -4.6375 \times 10^{-5}$$

$$A_{10} = 6.8037 \times 10^{-6}$$

## 第6面

$$K = 0$$

$$A_4 = 3.7138 \times 10^{-7}$$

$$A_6 = -4.4845 \times 10^{-8}$$

$$A_8 = 0$$

$$A_{10} = 0$$

$$f = 5.0523$$

$$F_{10} = 2.8$$

$$\phi_{DDE} / \phi = 0.11752$$

$$D_{DDE} / f = 0.9938$$

$$C_{DDE} \cdot f = -1.31693$$

$$\phi_{REF} / \phi = 0.79102$$

$$f / f_F = -0.46482$$

$$D_{FS} / f = 0.90422$$

$$R_{12} / D_{FS} = 0.69491$$

$$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 0.92279$$

$$D_{SL} / f = 0.99379$$

$$(R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) = 2.80432$$

【0098】上記実施例1～16の収差図をそれぞれ図11～図26に示す。各収差図中、球面収差を図(a)に、非点収差を図(b)に、歪曲収差を図(c)に、倍率色収差を図(d)に、コマ収差を図(e)に示す。図30中、FYIは像高を示す。

【0099】以上の本発明の撮影レンズは、例えば次のように構成することができる。

$$0.02 < \phi_{DDE} / \phi < 0.20$$

$$\dots (1)$$

$$0.2 < D_{DDE} / f < 3.0$$

$$\dots (2)$$

ただし、 $\phi$ 、 $f$ はそれぞれ全系のパワーと焦点距離、 $\phi_{DDE}$ は前記回折面のパワーであり、基板のパワーは含まず、また、 $D_{DDE}$ は前記開口絞りの位置から前記回折面までの距離である。

【0100】〔2〕上記〔1〕において、前記開口絞り

\* [1] 物体側から順に、負のパワーの前群と、開口絞りと、正のパワーの後群とで構成され、前記前群の最も物体側のレンズが物体側に凸面を向けたレンズからなり、前記後群は、少なくとも1つの正レンズと正のパワーの回折面を有する回折光学素子とを有し、以下の条件を満足することを特徴とする撮影レンズ。

$$0 \leq \phi_{REF} / \phi < 0.9$$

$$\dots (3)$$

$$-0.2 < f / EXP_{DDE} < 0.42$$

$$\dots (4)$$

ただし、 $\phi_{REF}$ は前記屈折光学素子のパワーであり、前記屈折光学素子のパワーは含まず、また、 $EXP_{DDE}$ は前記射出瞳位置から前記回折面までの距離である。★

$$-0.8 < f / f_F < -0.2$$

$$\dots (5)$$

$$0.5 < D_{FS} / f < 2.2$$

$$\dots (6)$$

ただし、 $f_F$ は前記前群の焦点距離、 $D_{FS}$ は前記前群の物体側の面頂から前記開口絞りまでの距離である。

【0102】〔4〕上記〔1〕から〔3〕の何れか1☆50

※りから前記回折面までの間に、以下の条件式(3)の範囲内の屈折作用を持つ屈折光学素子を有し、さらに、前記回折面よりも物体側にある光学系の射出瞳位置が以下の条件式(4)の範囲内にあることを特徴とする撮影レンズ。

★【0101】〔3〕上記〔1〕又は〔2〕において、以下の条件を満足することを特徴とする撮影レンズ。

★項において、以下の条件式を満足することを特徴とする撮影レンズ。

$$0.2 < R_{1s} / D_{1s} < 1.2$$

$$-1.0 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 5.0$$

ただし、 $R_{1s}$  は前記前群の最も像側の面の曲率半径、 $D_{1s}$  は前記前群の最も像側の面から前記開口絞りまでの距離、 $R_1$ 、 $R_2$  はそれぞれ前記後群の屈折レンズ成分の物体側、像側の近軸曲率半径である。

【0103】[5] 上記 [1] から [4] の何れか 1 項において、前記前群は物体側に凸面を向けた負のパワーのメニスカスレンズのみで構成され、前記後群の少なくとも 1 つの正レンズが両凸レンズであることを特徴とする撮影レンズ。

【0104】[6] 上記 [1] から [4] の何れか 1 項において、前記前群は、物体側に凸面を向けた正レンズ\*

$$0.02 < \phi_{DDE} / \phi < 0.20$$

$$0.2 < D_{DDE} / f < 3.0$$

ただし、 $\phi$ 、 $f$  はそれぞれ全系のパワーと焦点距離、 $\phi_{DDE}$  は前記回折面のパワーであり、基板のパワーは含まず、また、 $D_{DDE}$  は前記開口絞りの位置から前記回折面までの距離である。※

$$-8.0 < C_{DDE} \cdot f < 1.0$$

ただし、 $C_{DDE}$  は前記回折光学素子の基板の前記回折面を設ける面の曲率である。★

$$-0.8 < f / f_f < -0.2$$

$$0.5 < D_{fs} / f < 2.2$$

ただし、 $f_f$  は前記前群の焦点距離、 $D_{fs}$  は前記前群の物体側の面頂から前記開口絞りまでの距離である。

【0108】[10] 上記 [7] から [9] の何れか☆

$$0.2 < R_{1s} / D_{1s} < 1.2$$

$$-1.1 < (R_1 + R_2) / (R_1 - R_2) < 5.0 \quad \dots (10)$$

ただし、 $R_{1s}$  は前記前群の最も像側の面の曲率半径、 $D_{1s}$  は前記前群の最も像側の面から前記開口絞りまでの距離、 $R_1$ 、 $R_2$  はそれぞれ前記後群の回折面を有する回折光学素子の基板の物体側、像側の近軸曲率半径である。

【0109】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によると、DOE を使用し、以上のような構成とすることで、画角周辺部まで高い結像性能を維持したまま、一次の軸上色収差及び倍率色収差を良好に補正し、さらには、広角レンズにおける高次の倍率色収差も除去した、構成枚数の少ない安価な撮影レンズを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図2】本発明の実施例2の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図3】本発明の実施例5の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図4】本発明の実施例6の撮影レンズの光軸を含む断

$$\dots (7)$$

$$\dots (8)$$

\* ズと負のパワーのレンズとで構成され、前記後群の少なくとも 1 つの正レンズが両凸レンズであることを特徴とする撮影レンズ。

【0105】[7] 物体側から順に、負のパワーの前群と、開口絞りと、正のパワーの後群とで構成され、前記前群の最も物体側のレンズが物体側に凸面を向けたレンズからなり、前記後群は、少なくとも 1 つの曲率のある面が正のパワーの回折面を有する回折光学素子からなり、以下の条件を満足することを特徴とする撮影レンズ。

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

※ 【0106】[8] 上記 [7] において、前記回折面を有する回折光学素子の基板の曲率が以下の条件を満足することを特徴とする撮影レンズ。

$$\dots (9)$$

★ 【0107】[9] 上記 [7] 又は [8] において、以下の条件式を満足することを特徴とする撮影レンズ。

$$\dots (5)$$

$$\dots (6)$$

☆ 1 項において、条件式を満足することを特徴とする撮影レンズ。

$$\dots (7)$$

面と光路を示す図である。

【図5】本発明の実施例7の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図6】本発明の実施例8の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図7】本発明の実施例10の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図8】本発明の実施例12の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図9】本発明の実施例14の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図10】本発明の実施例15の撮影レンズの光軸を含む断面と光路を示す図である。

【図11】実施例1の収差図である。

【図12】実施例2の収差図である。

【図13】実施例3の収差図である。

【図14】実施例4の収差図である。

【図15】実施例5の収差図である。

【図16】実施例6の収差図である。

【図17】実施例7の収差図である。

【図18】実施例8の収差図である。

【図19】実施例9の収差図である。

【図20】実施例10の収差図である。

【図21】実施例11の収差図である。

【図22】実施例12の収差図である。

【図23】実施例13の収差図である。

【図24】実施例14の収差図である。

【図25】実施例15の収差図である。

【図26】実施例16の収差図である。

【図27】光束が回折光学素子の回折面に対して垂直入射したときの様子を示す図である。

\* 【図28】光束が回折光学素子の回折面に対して斜入射のときの様子を示す図である。

【符号の説明】

1…理想の回折角をもって回折された光線

2…不要回折光あるいは不要反射光

1 O …DOE

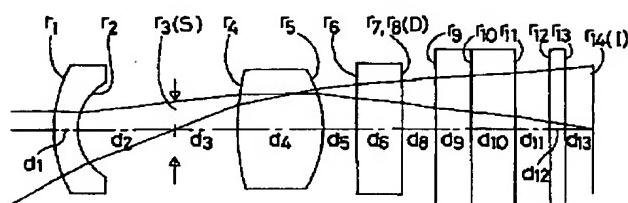
S…開口絞り

D…回折面 (DOE)

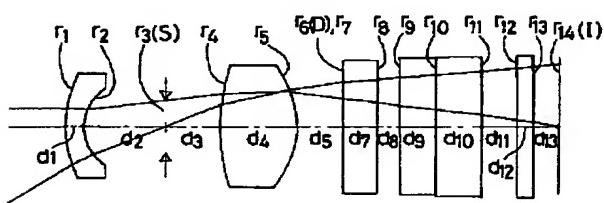
I…像面

\* 10

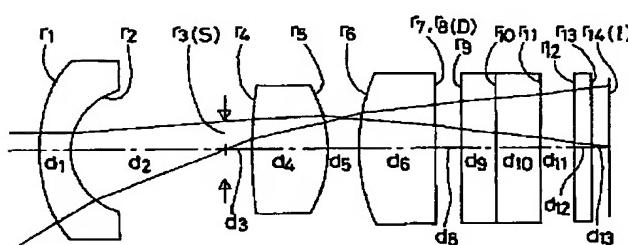
【図1】



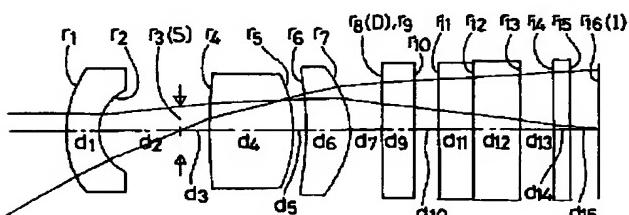
【図2】



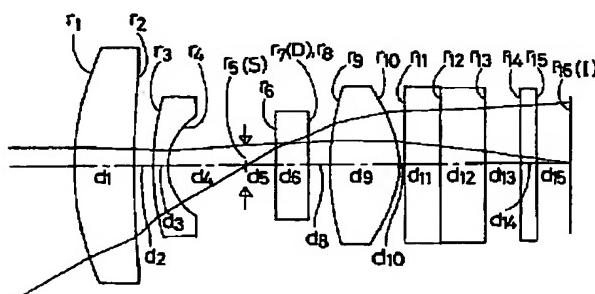
【図3】



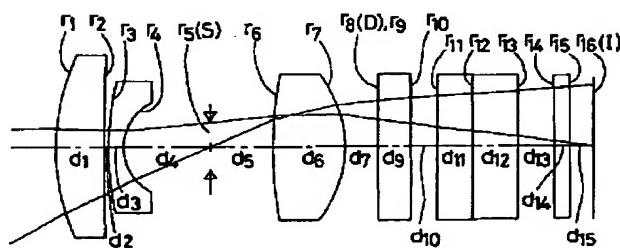
【図4】



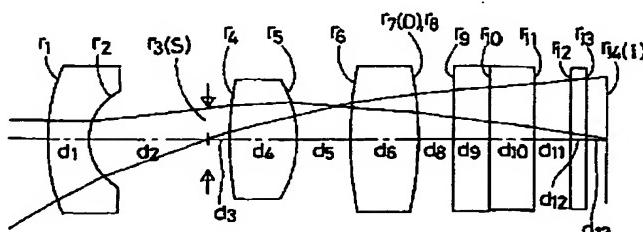
【図5】



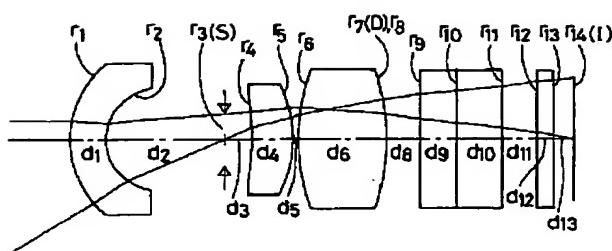
【図6】



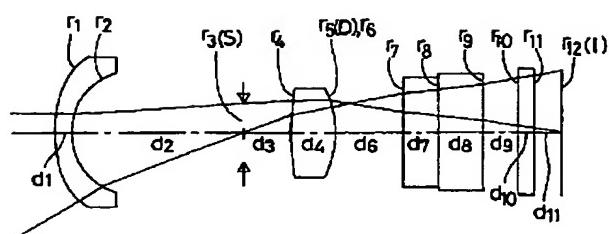
【図7】



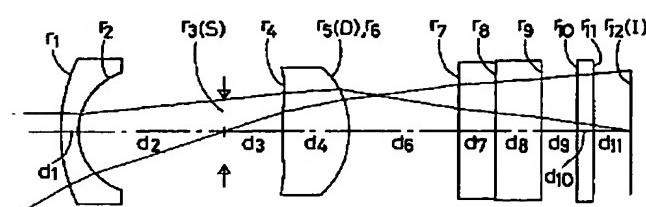
【図 8】



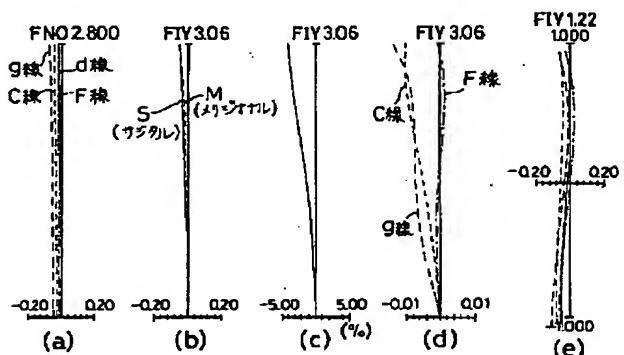
【図 9】



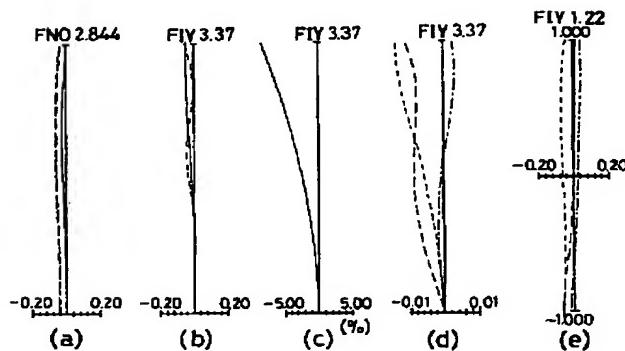
【図 10】



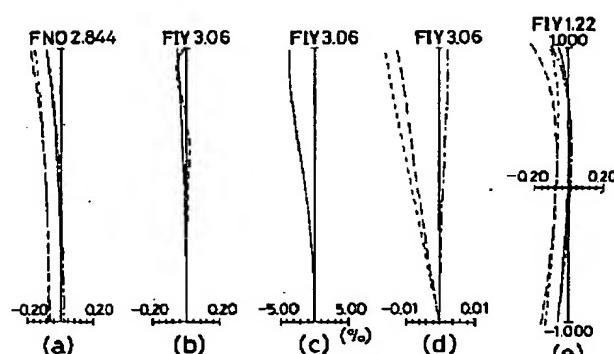
【図 11】



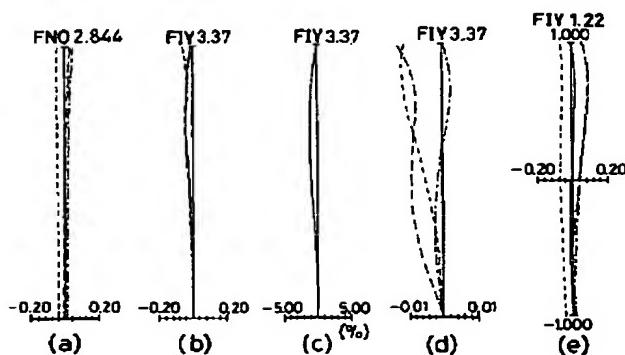
【図 12】



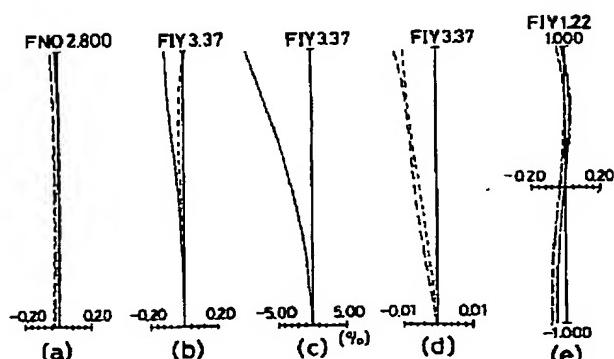
【図 13】



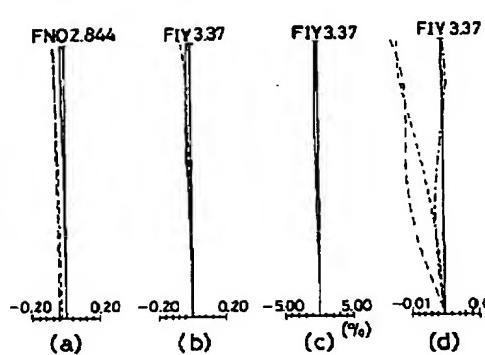
【図 14】



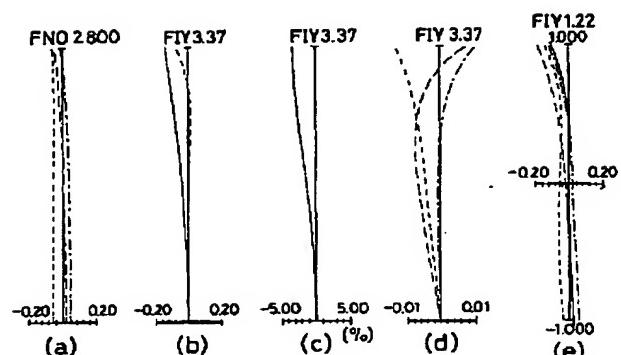
【図 15】



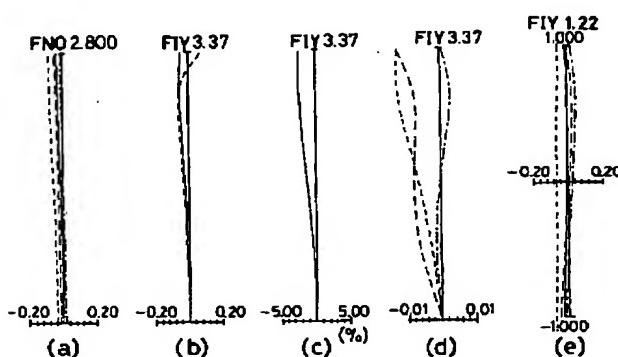
【図 16】



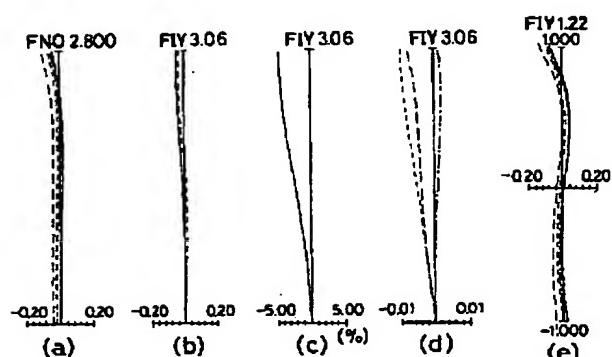
【図 17】



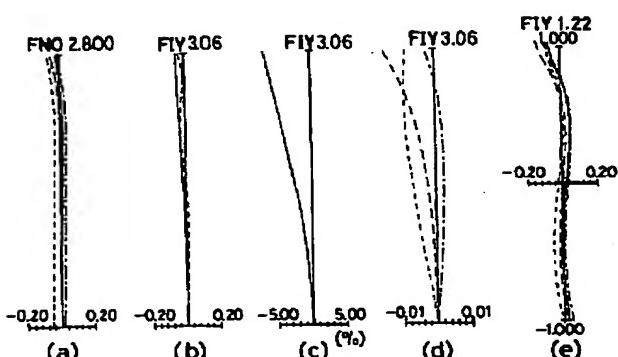
【図 18】



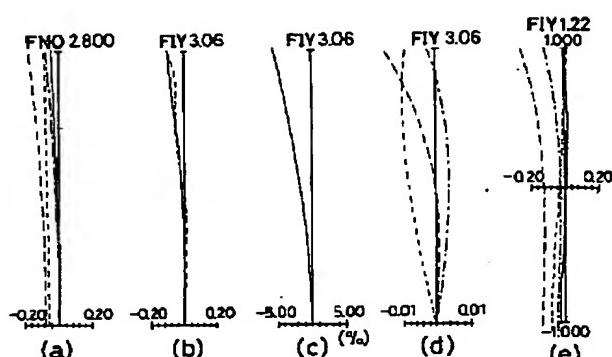
【図 19】



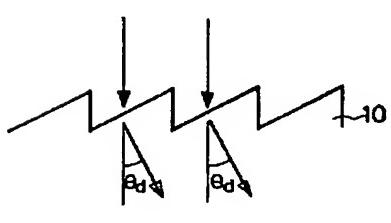
【図 20】



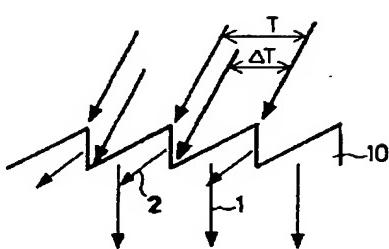
【図 21】



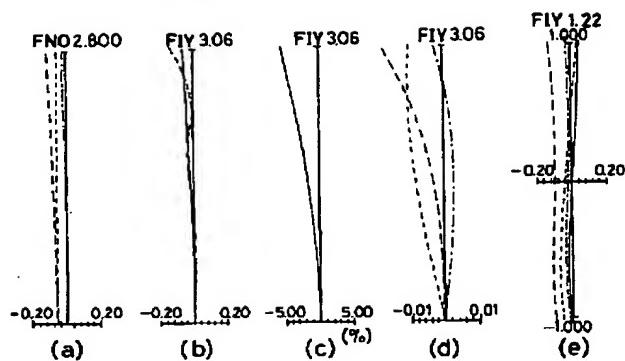
【図 27】



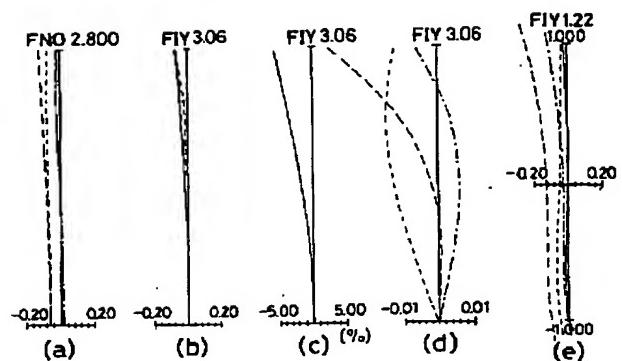
【図 28】



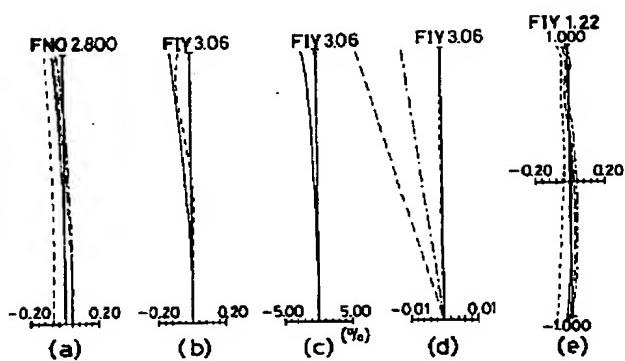
【図 2 2】



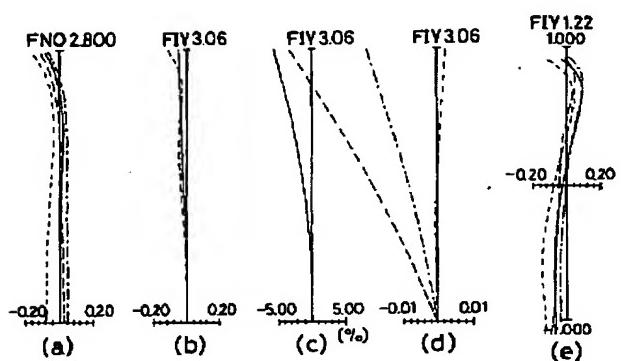
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】

